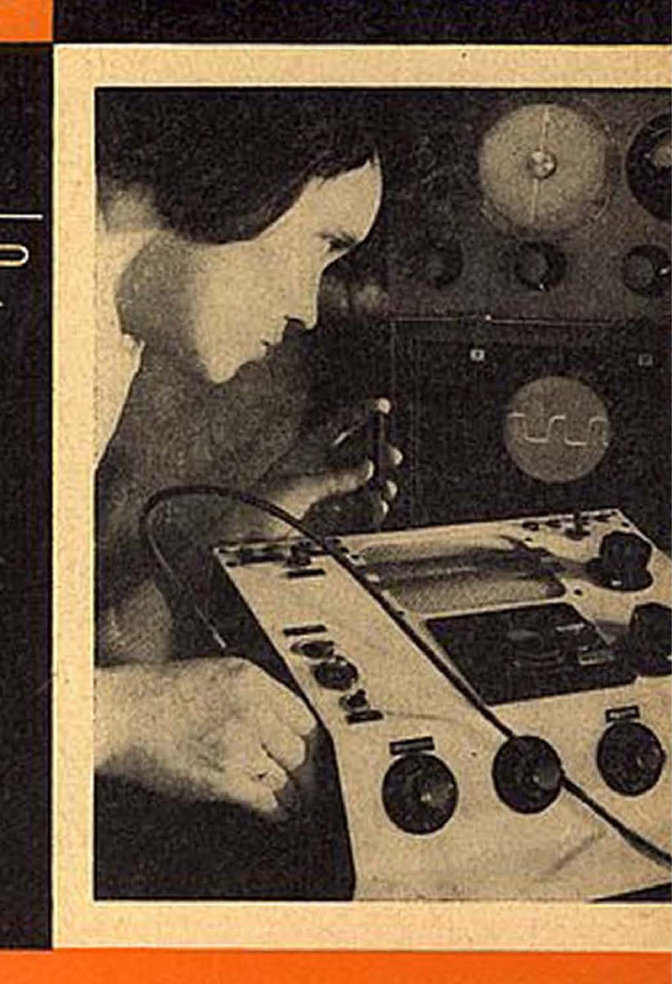
30

DER PRAKTISCHE FUNKAMATEUR



Klaus K. Streng

NF-Verstärker-Meßtechnik

Der praktische Funkamateur · Band 30
NF-Verstärker-Meßtechnik

Klaus K. Streng

NF-Verstärker-Meßtechnik



Deutscher Militärverlag

Redaktionsschluß: 28. August 1962

1. - 10. Tausend

Deutscher Militärverlag, Berlin 1963

Lizenz-Nr. 5

Zeichnungen: Hildegard Seidler

Lektor: Sonja Topolov

Vorauskorrektor: Ingrid Elsner, Korrektor: Evelyn Lemke

Hersteller: Jürgen Hecht

Titelfoto: hajak - görlitz

Gesamtherstellung: (204) VEB Graphische Werkstätten Berlin, Werk I 10 3587

Vorwort

Die vorliegende Broschüre behandelt die Technik der Messungen an Niederfrequenzgeräten mit dem Amateur gemäßen Mitteln.

Über meßtechnische Fragen, über das günstigste Messen kann erfahrungsgemäß nicht genug geschrieben werden. Richtiges Messen hilft Fehler und Defekte erkennen, steigert die Qualität der Geräte und ermöglicht oft Einsparungen, indem es Schäden an wertvollen Bauteilen vorbeugt.

Leider wird in der Fachzeitschrift der Funkamateure nur wenig über meßtechnische Fragen geschrieben. Das Ergebnis — fast Tradition im Amateurwesen — ist, daß viele Amateure zwar außerordentliches Geschick bei der Dimensionierung einer Schaltung und Fertigung eines Gerätes zeigen, aber hilflos sind, wenn sich an ihren Geräten ein Schaden zeigt. Die Folge ist ein unsystematisches Herumsuchen (oder Auswechseln von Teilen „auf Verdacht"), unzweckmäßiger Einsatz von Geräten und Zeitverlust. Es ist Ziel dieser Broschüre, hier Aufklärung und Unterstützung zu geben; ständige Praxis und eigene Überlegung werden das Gelesene ergänzen.

Bewußt wurde bei dieser Broschüre das NF-Gebiet herausgegriffen, und zwar auf Grund der Erfahrung, daß es zur Zeit noch mehr Tonband- und Schallplattenamateure gibt als ausgesprochene Funkamateure. Außerdem ist das Messen an NF-Geräten in vieler Hinsicht einfacher als an Sendern und Empfängern. Schließlich braucht auch der Funkamateur die Niederfrequenz und sei es nur beim Modulationsteil seines Senders.

Zum anderen wurden die angeführten Messungen weitgehend auf die Möglichkeiten des Amateurs beschränkt. Das ist schwierig; der eine ist völlig auf sich selbst gestellt, ein anderer arbeitet in einem elektrotechnischen Betrieb, der

dritte ist an einer Kollektivstation beteiligt. Die Praxis zeigt jedoch, daß es mehr auf geschicktes und richtiges Messen als auf den Besitz vieler moderner Meßgeräte ankommt.

So ist diese Broschüre für all jene bestimmt, die sich ohne spezielle berufliche Ausbildung auf diesem Gebiet mit Fragen der Niederfrequenztechnik beschäftigen. Der Kreis reicht vom „HiFi-Fan“ bis zum Lautsprechertrupp der Nationalen Volksarmee.

Der Verfasser

Berlin, Frühjahr 1962

1. ART DER MESSUNGEN AM NF-VERSTÄRKER, ERFORDERLICHE MESSGERÄTE DES AMATEURS

Wer die Qualität eines Verstärkers beurteilen will, muß zunächst seine Eigenschaften kennen. Hierzu braucht man bestimmte objektive Vergleichswerte; das Abhören einer Anlage läßt sich nur sehr bedingt zu ihrer Beurteilung heranziehen. Beim Abhören spielen eine Reihe subjektiver Faktoren mit („meine Anlage ist gut"). Objektive Maßstäbe sind aber nur solche, die unabhängig von dem Willen des einzelnen existieren. Wer sich mit philosophischen Fragen beschäftigt weiß, was mit „objektiv" (= außerhalb und unabhängig von unserem Bewußtsein) gemeint ist.

Solche objektiven Werte in der Technik — also auch in der NF-Verstärkertechnik — ergeben sich aus Messungen. Messungen sind im Grunde Vergleiche mit anderen, bekannten Werten. Wenn wir sagen, daß eine Spannung „3 Volt" beträgt, so heißt das, sie ist dreimal größer als der international festgelegte Spannungswert „1 Volt". Ein Bekannter mag uns zehnmal erzählen, sein Verstärker arbeite verzerrungsfrei — den einwandfreien Beweis liefert nur die Angabe des gemessenen Klirrfaktors.

Messungen haben neben der Rolle, die sie beim Überprüfen der Güte von Geräten, Anlagen usw. spielen, noch andere Funktionen. So kann eine Strom- bzw. Spannungsmessung darüber Aufschluß geben, ob eine Röhre in einem neuen Gerät nicht überlastet wird. Die Grenzdaten der Röhre (Katodenstrom, Anodenbelastung usw.) dürfen nicht überschritten werden.

Und schließlich kommt Messungen noch eine weitere Bedeutung zu: Ein defektes Gerät soll instand gesetzt werden. Auch hier sind Messungen notwendig; 90 Prozent aller Fehler im Rundfunkgerät oder Verstärker lassen sich durch einfache Gleichspannungsmessungen feststellen. Dieser Hinweis sei all jenen Amateuren ins Stammbuch geschrieben, die glau-

ben, die kleinste (komplizierte) Reparatur nicht ohne Röhrenvoltmeter und Oszillograf ausführen zu können.

Wir halten also fest: Messungen dienen zur Bestimmung und Überwachung einer definierten Qualität und zur Eingrenzung von Fehlern. Damit ist die Frage nach der Art der am NF-Verstärker vorkommenden Messungen beantwortet. Um genau zu sein, teilen wir die Arten der vorkommenden Messungen nach folgenden Gesichtspunkten ein:

a) Messungen zur Kontrolle, ob alle Teile des Gerätes einwandfrei arbeiten oder ob ein Fehler vorliegt bzw. sich vorbereitet;

b) Messungen zur Ermittlung bestimmter Werte, die über die Güte des Gerätes Auskunft geben;

c) Messungen bei Reparaturen.

Die einzelnen Punkte können sich überschneiden. Unter die Messungen nach a) fallen Strom- und Spannungsmessungen an Elektronenröhren (besonders Endröhren), exakte Ermittlung der Heizspannungen usw. Es sind fast alles Messungen von Gleichstrom bzw. Gleichstromspannungen und 50-Hz-Wechselspannungen. Gelegentlich können dazu auch Verstärkungsmessungen von Stufen und Geräten gehören — manchmal bei verschiedenen Frequenzen. Für die Messungen gemäß a) benötigen wir mindestens ein gutes Vielfachinstrument und eventuell ein hochohmiges Röhrenvoltmeter. Außerdem brauchen wir für die Verstärkungsmessungen eine Tonfrequenzquelle, und zwar einen Tongenerator.

Für die Messungen entsprechend b) braucht man mehr. Hier ist neben den unter a) genannten Meßgeräten ein Oszillograf unbedingt erwünscht, eventuell noch ein Klirrfaktormesser.

Für Punkt c) benötigen wir im allgemeinen keine zusätzlichen Meßgeräte. Wie erwähnt, kommt man fast immer mit dem Vielfachinstrument aus.

Außer den genannten Geräten sind verschiedene Widerstände erforderlich, deren Wert sehr genau bekannt sein muß, Meßschnüre (mit Bananenstecker und Krokodilklemmen), teil-

weise abgeschirmt, und allenfalls noch ein Ohmmeter (Wheatstone-Brücke), falls das Vielfachinstrument nicht auch als Ohmmeter (mit eingebauter Batterie) ausgebildet ist.

Mit diesem relativ bescheidenen Meßgerätepark — den wir im einzelnen noch kennenlernen — werden viele Messungen ausgeführt. Der Grund ist in einer geschickten Zusammenstellung der Geräte, im jeweiligen Aufbau des Meßplatzes und in der Wahl der günstigsten Meßmethode zu suchen. Stellen wir fest: Es kommt nicht so sehr auf die Zahl der Meßgeräte als auf ihren zweckmäßigen Einsatz an. Es gibt Amateure, die das große Glück haben, in ihrem Betrieb oder in einer besonders gut ausgestatteten Kollektivstation einen umfangreichen Meßgerätepark benutzen zu dürfen — und doch kommt kein vernünftiges Ergebnis zustande. Das andere Extrem ist häufiger: der Amateur, der beinahe nur „mit dem nassen Finger" erstaunlich genaue Meßwerte ermittelt. Das darf allerdings nicht zur Ungenauigkeit verleiten, die wenigen Geräte des Amateurs müssen eindeutig und funktionsklar sein.

Die Liste der erforderlichen Meßgeräte sei nochmals zusammengestellt:

1 Vielfachinstrument
1 Klirrfaktormesser (+)
1 Tonfrequenzgenerator
1 Röhrenvoltmeter
1 Katodenstrahloszillograf
1 Ohmmeter (+)

Das Zeichen (+) besagt, dieses Gerät kann notfalls entfallen. Die meisten der genannten Geräte sind in unserer Reihe (Jakubaschk: Meßplatz des Amateurs), Band 18 als Bauleitungen beschrieben, außerdem werden im folgenden noch einige zusätzliche Hinweise gegeben.

Die aufgezählten Geräte sind keinesfalls als obere Grenze anzusehen, vielmehr ist dem Schöpfergeist des einzelnen keine Grenze gesetzt. So kann z. B. eine Eichleitung sehr wertvolle Dienste leisten. Für die Fehlersuche sind oft auch primitiv anmutende Hilfsvorrichtungen zweckmäßig. Ein

richtig eingesetzter „signal-tracer" (Signalverfolger) ersetzt unter Umständen ein halbes Laboratorium. Entscheidend sind Geschick und Kombinationsgabe.

Wenn in dieser Broschüre die wichtigsten vorkommenden Messungen an NF-Geräten beschrieben werden, so beschränken sich die Ausführungen auf den Aufbau des Meßplatzes, wichtige Hinweise für die Messung usw. Das Wichtigste freilich können weder Buch noch Broschüre vermitteln: die Fähigkeit, aus den ermittelten Meßwerten Rückschlüsse auf die Arbeitsweise, Eigenschaften und Fehler des „Prüflings" zu ziehen.

1.1 Die Beschaffung der notwendigen Meßgeräte

Ehe man darangeht, ein Gerät durchzumessen, müssen die Meßgeräte erst einmal greifbar sein. Im Rahmen dieses Heftchens können keine kompletten Bauanleitungen zu den im vorigen Abschnitt aufgezählten Meßgeräten gegeben werden; kleine Meßhilfen werden im Text von Fall zu Fall beschrieben bzw. entsprechende Literaturhinweise gegeben.

a) Vielfachmeßgerät

Hier ist ein Selbstbau schwierig. Empfohlen wird ein handelsübliches Meßinstrument mit möglichst hohem Innenwiderstand. Auf Wechsel s t r o m meßbereiche kann notfalls verzichtet werden, jedoch kaum auf Wechsel s p a n n u n g s - meßbereiche. Besonders geeignet ist der „Universalmesser IV" vom VEB Elektro-Apparate-Werke Treptow (Bild 1). Einige technische Daten des „Universalmessers IV":

Meßbereiche (Gleich- und Wechselspannung bzw. -strom)

1,5/6/15/30/150/300/600 V

1,5/6/30/150/600 mA/1,5/6 A

Stromaufnahme in den Spannungsmeßbereichen (Vollausschlag)

50 μA (Gleichspannungsmeßbereiche)

500 μA (Wechselspannungsmeßbereiche)

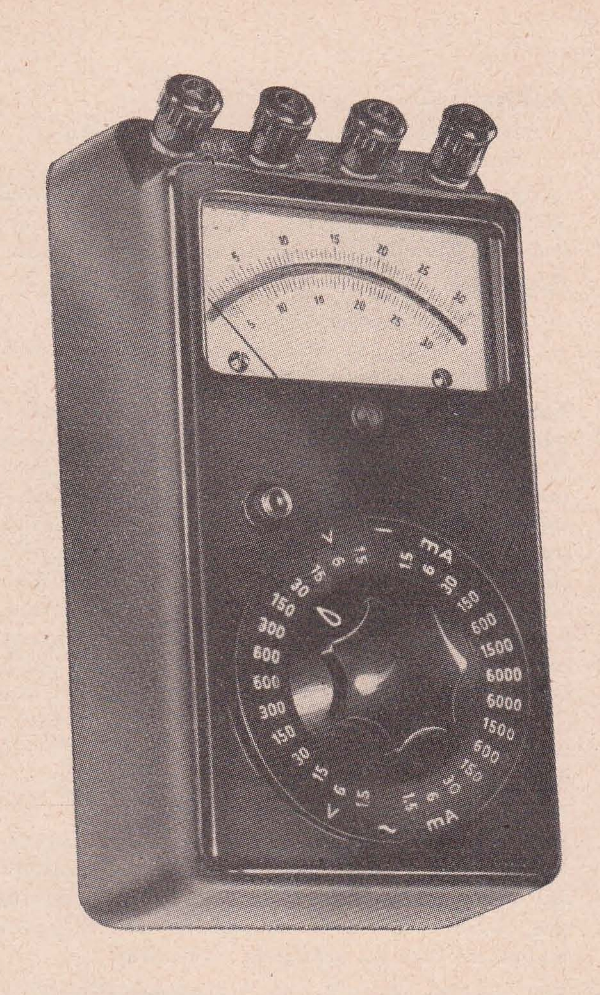


Bild 1 Universalmesser IV (Foto: VEB Elektro-Apparate-Werke Treptow)

Meßgenauigkeit

Gleichspannung bzw. -strom: ± 1 Prozent
Wechselspannung bzw. -strom: ± 1,5 Prozent

bezogen jeweils auf den Meßbereichendwert. Zur Einhaltung der genannten Genauigkeit darf der 6-A-Meßbereich nur kurzzeitig (etwa 5 min maximal) eingeschaltet werden.

Frequenzbereich

≦ 1,5 Prozent von 16 Hz ... 10 kHz;
≦ 5 Prozent in den Meßbereichen 300 V und 600 V im angegebenen Frequenzbereich.

Neben dem „Universalmesser IV" des VEB Elektro-Apparate-Werke Treptow, der in vielen Amateurstationen, besonders aber im Rundfunk- bzw. Fernsehkundendienst ein beliebtes Standardmeßinstrument wurde, gibt es vom gleichen Herstellerbetrieb noch andere Vielfachmesser. Von diesen ist für den Verstärkerfachmann besonders der „Universalmesser II" von Interesse. Dieses Gerät ist lediglich für Spannungs- und Strommessungen im Gleichstrombereich bestimmt, dafür weist es in den Gleichspannungsmeßbereichen den beachtlichen Innenwiderstand von 100 000 Ω/V auf. Damit können fast alle hochohmigen Anoden- bzw. Schirmgitterspannungen an RC-gekoppelten Verstärkerstufen gemessen werden. Mit Hilfe von Halbleiterdioden (hoher Sperrwiderstand) ist eine Erweiterung für die Wechselspannungsmeßbereiche möglich (Zusatzkästchen).

Selbstverständlich können auch andere Vielfachmesser verwendet werden (Multizet usw.), allerdings sind Ausführungen mit niedrigem Innenwiderstand (wie das alte „Mavometer" von Gossen oder der „Multiprüfer" vom Meßgerätewerk Karl-Marx-Stadt) nur beschränkt verwendbar.

Der Amateur, der sich sein Vielfachmeßinstrument selbst anfertigen will, muß über hinreichende Erfahrungen im Selbstbau von elektrischen Geräten verfügen (das gilt natürlich auch für andere Meßgeräte): Von der Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Vielfachmeßinstrumentes hängt die Genauigkeit und Aussagekraft der Messungen ab, davon

wieder, außer einer bestimmten Qualität des gemessenen Gerätes, unter Umständen das „Leben" von Röhren und anderen Bauelementen. Folgende Bauanleitung kann empfohlen werden:

H. Wagenmann: Einfacher Vielfachspannungsmesser zum Selbstbau;

„radio und fernsehen", H. 4 (1959), S. 105 und 106.

Statt des Vielfachmessers (Drehspulmikroamperemeter mit umschaltbaren Vor- und Nebenwiderständen) kann auch ein Transistorvoltmeter verwendet werden:

H. Jakubaschk: Schaltung für Transistor-Voltmeter;
„funkamateur", H. 12 (1961), S. 398 und 399.

F. W. Dabruck: Bauanleitung für ein einfaches Transistorvoltmeter;
„radio und fernsehen", H. 8 (1959), S. 251 und 253.

b) Klirrfaktormesser

Dieses Gerät ist beim Amateur wenig populär. Der Grund liegt wohl darin, daß das Gerät selten verwendet wird, jedoch einen ziemlichen Aufwand beim Bau erfordert (besonders, wenn es genau messen soll). Es wird folglich kaum „amortisiert". Viele Amateure verlassen sich bei der Überprüfung der „Verzerrungsfreiheit" auf ihr Gehör oder nehmen einen Oszillografen zu Hilfe — beide Methoden sind im höchsten Maße ungenau.

Ein einfaches Meßgerät zur Klirrfaktorbestimmung wurde von Jakubaschk in der Reihe

„Der praktische Funkamateur", Bd. 18, und in
„radio und fernsehen", H. 12 (1960), S. 371 bis 373,

beschrieben.

Es reicht stets aus für die Messungen der Amateure an Modulationsverstärkern und anderen Leistungsverstärkern. Ein weiteres, einfaches Klirrfaktormeßgerät wird in Kapitel 5 behandelt.

c) Tonfrequenzgenerator

Hier lohnt der Selbstbau immer, und es gibt in unserer Amateurliteratur unzählige Bauanleitungen für Tongeneratoren. Zu empfehlen ist ein nach dem RC-Prinzip funktionierendes Gerät, Schwebungssummer sind weniger geeignet. Unter anderen erschienen in letzter Zeit:

H. Jakubaschk, Meßplatz des Amateurs;
Reihe „Der praktische Funkamateur", Bd. 18.

H. Jakubaschk, RC-Tongenerator mit zehn Festfrequenzen für den Amateur;
„radio und fernsehen", H. 17 (1957), S. 525—527.

Weitere Schaltungen werden in Kapitel 5 angegeben.

So empfehlenswert die Verwendung von stets gleichen Festfrequenzen für viele Messungen ist, so hat sie doch einen Nachteil: Bestimmte Untersuchungen (Ermittlung der Streuresonanz von Übertragern usw.) sind mit ihr nicht möglich. Diese Messungen kommen jedoch relativ selten vor. Außerdem sind — in Abweichung von der zuletzt genannten Bauanleitung — folgende Festfrequenzen empfohlen:

(30 Hz), 60 Hz, 120 Hz, 240 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz, 10 000 Hz, 12 000 Hz, 16 000 Hz, (20 000 Hz).

Bei Verwendung der Frequenz 50 Hz und ihrer ersten Harmonischen ergeben sich meist Schwebungen mit der Netzfrequenz, die eine einwandfreie Messung erschweren, wenn nicht unmöglich machen.

d) Röhrenvoltmeter

Auch hier gibt es zahlreiche Bauanleitungen. Für die in dieser Broschüre beschriebenen Messungen sind allerdings nur Geräte mit großer Empfindlichkeit (30 mV Vollausschlag und weniger) brauchbar.

Einige Hinweise für Röhrenvoltmeterschaltungen folgen in Kapitel 2.

e) Katodenstrahloszillograf

Hier dürfte die Wahl nicht schwerfallen: Der in „radio und fernsehen", H. 13 und H. 14 (1958), auf den Seiten 411 bis 414 und 457 bis 461 beschriebene „Oszi 40" von Jansen und Weber (VEB Funkwerk Erfurt) wurde bis jetzt in bezug auf Wirtschaftlichkeit, Zuverlässigkeit und Einfachheit der Schaltung von keinem Amateur-Oszillografen überboten.

2. SPANNUNGS- UND VERSTÄRKUNGSMESSUNGEN

Die wichtigsten Messungen, die an Verstärkern vorkommen, sind zweifellos Spannungsmessungen. Zunächst interessieren vor allem die Betriebsspannungen an den Elektronenröhren. Wie man diese mit Hilfe eines Vielfachmeßgerätes („Multizets“, „Universalmessers“ usw.) ermittelt, braucht hier nicht beschrieben zu werden. Allenfalls muß zur Messung der Heizspannung einiges gesagt werden.

Die Messung der Heizspannung ist im allgemeinen lediglich bei „neuentwickelten“ (selbstgebauten) Geräten notwendig. Hier sollte man allerdings genau sein. denn die Elektronenröhren verlangen im Interesse ihrer Lebensdauer die Einhaltung der vorgeschriebenen Heizspannung mit ± 5 Prozent. Bezogen auf die üblichen 6,3 V sind die Grenzwerte 6,0 und 6,6 V. Zwischen diesen Grenzwerten muß die Heizspannung liegen (je näher sie bei 6,3 V liegt, um so besser). Es wäre sinnlos, diese Messung mit dem üblichen Multizet ausführen zu wollen: der 6-V-Bereich ist nicht ausreichend, und der nächsthöhere Bereich 30 V liefert nur einen sehr ungenauen Meßwert. Hier muß man — falls kein anderes Meßinstrument zur Verfügung steht — einen Vorwiderstand

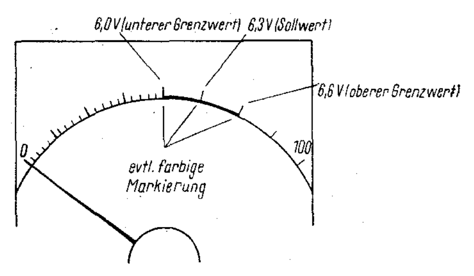


Bild 2 Hilfseinrichtung auf der Instrumentenskala zur Anzeige der Heizspannung

für den 1,5- oder 6-V-Bereich anfertigen und das Instrument entsprechend eichen (Sollwert und Grenzwerte der Heizspannung genügen, Bild 2). Bei der Erprobung eines neugebauten Verstärkers versäume man nie, die Heizspannung u n m i t t e l b a r an den R ö h r e n f a s s u n g e n zu kontrollieren, unter Umständen fällt in der Heizleitung eine zu große Spannung ab. Der Netztransformator soll (bei Vollast) eine etwas größere Spannung — ungefähr 6,4 V — abgeben.

Diese und andere Messungen der Betriebsspannungen dürfen nur bei Speisung des zu messenden Gerätes mit der „Soll-Netzspannung" (220 V) vorgenommen werden.

Zur Messung der Gleichspannungen an den Endstufen ist nichts zu sagen. Man weiß, welche Spannungen etwa vorhanden sein müßten, und kann aus einer unzulässig hohen Abweichung leicht auf den vorliegenden Fehler schließen. Anders ist es bei den RC-gekoppelten Vorstufen.

Bei der Messung der Anoden- und Schirmgitterspannungen an den Vorstufen stellt man zunächst fest, daß das Voltmeter sehr wenig anzeigt. Der Grund ist einleuchtend: Die Betriebsspannungen werden über hochohmige Widerstände (100 kΩ . . . 1 MΩ) zugeführt. Bei der Messung mit einem Vielfachmeßinstrument bricht die Spannung dann zusammen (Bild 3).

Man kann aus dem gemessenen niedrigen Spannungswert, dem Wert der Spannung vor dem hochohmigen Widerstand

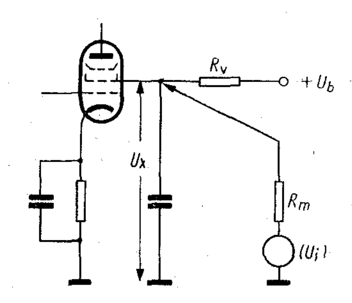


Bild 3
Zum Entstehen des Meßfehlers beim Messen von hochohmigen Spannungen

und den Werten des Anoden- bzw. Schirmgittervorwiderstands sowie dem Innenwiderstand des Voltmeters die Spannung ausrechnen, die „im Leerlauf", d. h. ohne Belastung durch das Voltmeter, tatsächlich an der Röhre vorhanden ist. Der Vollständigkeit halber sei hier die entsprechende Näherungsgleichung (ohne die recht langwierige Ableitung) angegeben.[1] Sie lautet:

$$U_x = U_i + \frac{U_b \cdot R_v}{R_v + R_m}.$$

Hierin bedeuten:

U_b = Spannung vor dem *hochohmigen* Widerstand;
U_i = gemessene Spannung;
U_x = tatsächliche Leerlaufspannung (ohne Voltmeter);
R_v = hochohmiger Widerstand;
R_m = Innenwiderstand des Meßinstrumentes.

Die Bedeutung der einzelnen Symbole wird durch Bild 3 veranschaulicht.

Zum Glück ist es fast nie wirklich erforderlich, mit Hilfe der gezeigten Gleichung mühselig die einzelnen Spannungswerte zu ermitteln. Meist genügt es, zu kontrollieren, ob überhaupt eine Spannung an Anode und Schirmgitter vorhanden ist und in welcher Größenordnung sie ungefähr liegt. Dies kann man leicht durch einen großen Meßbereich des Vielfachmeßinstrumentes ermitteln, in dem der Innenwiderstand des Voltmeters nicht mehr stört.

Beispiel:

Anodenwiderstand und Schirmgittervorwiderstand einer Vorstufe betragen 0,3 bzw. 0,8 MΩ. Mit einem Instrument, dessen Widerstand 1 kΩ/V beträgt, kann man im 600-V-Bereich zumindest feststellen, ob eine Spannung an den betreffenden Elektroden vorhanden ist (der gemessene Wert stimmt nicht). Bei einem Instrument mit dem Innenwiderstand 10 kΩ/V

[1] *Diese Gleichung liefert nur für geringe Einflüsse der Meßinstrumente (hochohmiger R_m) brauchbare Werte.*

ist es möglich, eine Grobmessung im 600-V-Bereich schon vorzunehmen, da hier der Instrumenten-Innenwiderstand 6 MΩ beträgt. Von einer genauen Messung kann ohnehin nicht die Rede sein, da sich der Instrumentenanzeiger ziemlich am Anfang der Skala befindet, die Genauigkeit des Instrumentes aber immer auf Bruchteile des Vollausschlag-Wertes bezogen wird!

Die „Ungenauigkeit" ist kein Grund zum Verzweifeln. Da die Daten der Röhren immer streuen, tun dies die Gleichspannungswerte in RC-gekoppelten Stufen ebenfalls — und zwar meist sehr stark. Hinzu kommen die unvermeidlichen Toleranzen der Widerstände selbst, so daß Abweichungen der (berechneten) Spannungen um 20 bis 30 Prozent von ihrem Sollwert keine Seltenheit sind. Deshalb ist ihre genaue Messung meist sinnlos. Dort, wo es ausnahmsweise einmal darauf ankommt, kann die gezeigte Gleichung genommen werden, falls nicht ein vorhandenes Gleichspannungs-Röhrenvoltmeter bzw. -Transistorvoltmeter benutzt wird. Dies ist fast immer so hochohmig, daß es in der Tat den genauen Spannungswert anzeigt.

Wer kein Gleichspannungs-Röhrenvoltmeter besitzt — und das dürfte die Mehrzahl der Amateure sein — beachte die einfache Bauanleitung Bild 4. Diese Schaltung mit einer Röhre gestattet die Erweiterung eines Universalmeßinstrumentes bzw. eines empfindlichen Strommessers (Mikroamperemeters) zu einem Röhrenvoltmeter. Die Spannungsbereichsumschaltung erfolgt im Gitter des ersten Röhrensystems. Ein Umschalter zwischen den Katoden gestattet, Spannungen verschiedener Polarität zu messen, ohne die Meßschnüre umzuwechseln. Das auf den empfindlichsten Bereich geschaltete Meßinstrument läßt sich durch die 20-kΩ-Widerstände P_1 und P_2 (für jede Polarität getrennt) eichen. Mit P_3 wird der Nullpunkt eingestellt.

Die gezeigte Schaltung hat einen Eingangswiderstand von 10 MΩ. Sie dürfte demnach für die meisten Messungen an NF-Geräten ausreichen.

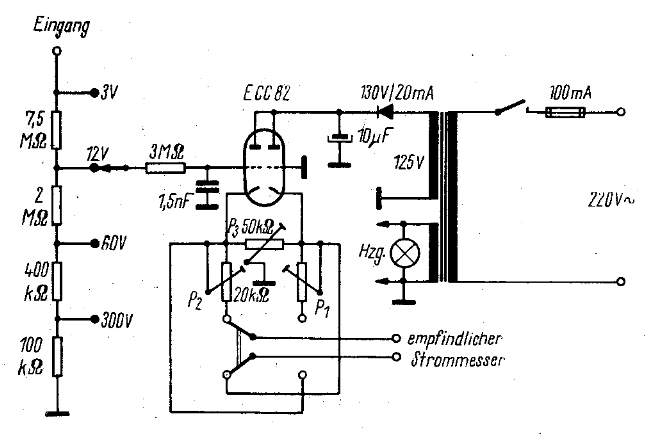


Bild 4 Schaltung zur Erweiterung eines Strommessers in ein Gleichspannungs-Röhrenvoltmeter

Je nach Art der Schaltung können sich Differenzen in den Betriebsspannungen ergeben, je nachdem, ob die Röhre angesteuert wird oder nicht. Das typische Beispiel ist die Gegentakt-Endstufe. Hier muß man natürlich unter den Bedingungen messen, unter denen die Sollwerte ermittelt wurden.

2.1 Tonfrequenzspannungsmessungen

Gelegentlich interessiert auch der Wert der Tonfrequenzspannung an der Anode bzw. dem Gitter einer Stufe. Hier kann man fast nur mit dem Röhrenvoltmeter messen.

Eine einfache Röhrenvoltmeterschaltung, die leicht nachzubauen ist, zeigt Bild 5. Die amerikanische Originalschaltung ist mit den Röhren 6 AU 6 und 6 AT 6 bestückt, auf die Röhrenlage der DDR bezogen, können die Typen 6 SH 7 und 6 SQ 7 bzw. EF 80 und EABC 80 eingesetzt werden. Der Netzteil ist in weiten Grenzen variabel. Mit dem beschriebenen Gerät können (je nach Größe der Instrumentenskala) Tonfrequenzspannungen bis zu 1 . . . 3 mV herab

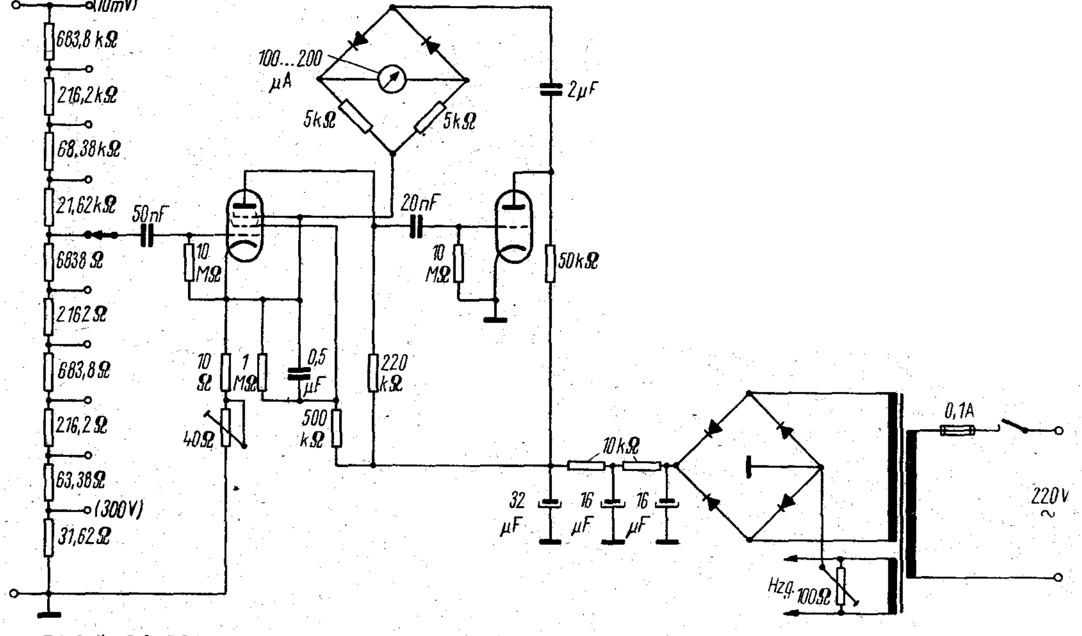


Bild 5 Schaltbild eines einfachen Tonfrequenz-Röhrenvoltmeters nach Turner

gemessen werden. Die Spannung für Vollausschlag im empfindlichsten Bereich beträgt 10 mV.

Einige Hinweise noch für den Selbstbau des Röhrenvoltmeters nach Bild 5:

Kritisch sind vor allem die Werte der Widerstände im Eingangsspannungsteiler (Bereichsumschalter). Sie müssen — da sie „krumme" Werte aufweisen — selbst angefertigt werden. Dazu nimmt man jeweils einen Widerstand, dessen Wert unter dem Wert des anzufertigenden Widerstandes liegt (also etwa 20 kΩ statt 21,62 kΩ). In diesen Widerstand wird spiralförmig eine kleine Rille eingeschliffen oder eingefeilt (Nagelfeile!), während sein Wert auf einer sehr genauen Meßbrücke ständig gemessen wird. Durch das Einschleifen bzw. Einfeilen der Widerstandsschicht vergrößert sich der Wert des Widerstands. Nach Erreichen des richtigen Wertes ist der Widerstand an der bearbeiteten Stelle sofort zu lackieren. Die ganze Arbeit verlangt viel Geduld und Fingerspitzengefühl und wird beim ersten Versuch kaum gelingen. Das wichtigste bei der Arbeit ist eine genaue Meßbrücke, über die Amateure im allgemeinen nicht verfügen. Man muß deshalb diese Arbeit in einem einschlägigen Betrieb (mit Genehmigung selbstverständlich!) ausführen bzw. ausführen lassen. Die Einhaltung der genauen Widerstandswerte ist deshalb so wichtig, weil deren Genauigkeit die Meßgenauigkeit des fertigen Gerätes bestimmt. Der Spannungsteiler selbst muß äußerst kapazitätsarm montiert werden (Widerstände freitragend auf dem Schalter).

Für die beiden Gleichrichterdioden kann man zwei handelsübliche Typen verwenden, ihre Kennlinie ist nicht kritisch, doch müssen beide Dioden unbedingt gleich sein. Die Skala des Instrumentes muß für 1 bzw. 3 als Vollausschlag im fertigen Gerät geeicht werden, sie stimmt dann in allen Bereichen.

Falls infolge der veränderten Röhrenbestückung usw. die angegebene Verstärkung (10 mV Vollausschlag im empfindlichsten Bereich) nicht erreicht wird, können folgende Maßnahmen getroffen werden:

Vergrößern des 50-kΩ-Widerstandes ergibt größere Verstärkung;
Verkleinern des 50-kΩ-Widerstandes ergibt kleinere Verstärkung;
Vergrößern des 40-Ω-Widerstandes ergibt kleinere Verstärkung.

Bei zu großer Verstärkung ist der letztgenannte Weg vorzuziehen. Die überflüssige Verstärkung wird dann gegengekoppelt, was sich vorteilhaft auf die Konstanz der Verstärkung auswirkt.

Das Originalgerät von Turner soll einen maximalen Frequenzgangfehler von ± 1 dB im Bereich 10 Hz . . . 50 kHz erreichen, ist folglich für alle Messungen des Amateurs an NF-Verstärkern und dgl. geeignet.

Ist bereits ein Röhrenvoltmeter vorhanden, dessen Empfindlichkeit nicht ausreicht, so schaltet man zweckmäßigerweise einen kleinen Meßverstärker davor, dessen Verstärkung entweder 100 oder 1000 beträgt — das Röhrenvoltmeter wird dann um diesen Faktor empfindlicher. Diese Methode hat natürlich ihre Grenzen: die Eigenstörspannung des Verstärkers. Bei sauber aufgebauten Verstärkern dürfte die Störspannung unter 50 μV liegen, d. h., sie macht sich im 1-mV-Bereich noch kaum im Instrumentenausschlag bemerkbar. Bild 6 zeigt das Schaltbild eines einfachen stabilen Verstärkers mit der Röhre ECC 83, dessen Verstärkung etwa 100 beträgt.[2] Heiz- und Anodenspannung können meist dem nachgeschalteten Röhrenvoltmeter entnommen werden.

Besonders beim Messen kleiner Spannungen — etwa an den Vorstufen eines Verstärkers — sind einige Gesichtspunkte für die richtige Messung zu beachten.

Das Kabel zum Röhrenvoltmetereingang muß unbedingt abgeschirmt sein, die Abschirmung am Röhrenvoltmetereingang eindeutig geerdet werden. Durch kurzzeitiges Abschal-

[2] *Den genannten Faktor 100 erreicht man durch zusätzliche Gegenkopplung vom Ausgang auf die Vorröhrenkatode.*

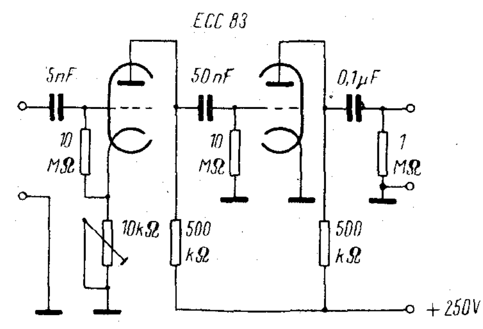


Bild 6 Einfacher Meßverstärker mit etwa hundertfacher Verstärkung zum Vorschalten vor Röhrenvoltmetern

ten der Eingangsspannung des Verstärkers (die Meßspannung muß dann ebenfalls verschwinden) überzeuge man sich, daß am Röhrenvoltmeter der angezeigte Wert tatsächlich von der Tonfrequenzspannung herrührt und nicht etwa durch Brummeinstreuungen oder Eigenschwingungen des Verstärkers bedingt ist! Sogar „alte Hasen“ haben schon einen 100-Hz-Brumm als „Ausgangsspannung“ gemessen!

Ferner zu beachten ist der Einfluß des Eingangswiderstands des Röhrenvoltmeters. Moderne RVs sind meist hochohmig und weisen Eingangswiderstände von etwa 0,5 . . . 1 MΩ auf. Diesen Wert kann man bei Messungen an Anoden von Triodenvorstufen fast immer vernachlässigen. Lediglich bei der hochohmigen ECC 83 kann das Röhrenvoltmeter eine Belastung an der Anode bedeuten. Bei Messungen an Anoden von Pentodenvorstufen ist $R_i > R_a$. R_a liegt in der Größenordnung 0,1 . . . 0,5 MΩ. Hier stellt der Eingangswiderstand des Röhrenvoltmeters bereits eine meßbare Belastung dar, der gemessene Wert ist 10 . . . 100 Prozent zu niedrig. Bei Orientierungsmessungen „ob etwas durch die Stufe durchkommt“ ist dies bedeutungslos, hingegen sind exakte Messungen der Stufenverstärkung unmöglich. Sollten solche Messungen erforderlich sein, so muß der Einfluß des Röhrenvoltmeter-Eingangswiderstands berechnet werden. Dieser — zugegeben nicht sehr exakte — Weg ist folgender

(Bild 7): Die an der Parallelschaltung von Röhreninnenwiderstand R_i, Außenwiderstand R_a und Gitterableitwiderstand der folgenden Stufe R_g' stehende Spannung sei U_x. Durch das Anschalten des Röhrenvoltmeters liegt der Eingangswiderstand R_e den genannten Widerständen parallel, die Spannung sinkt auf den Wert U_m ab. Dies ist der Wert, der vom Röhrenvoltmeter angezeigt wird.

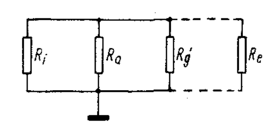


Bild 7
Ersatzschaltbild für die Messung von Anodenwechselspannungen

Die Parallelschaltung von R_i, R_a und R_g' wird in dem Widerstand R_p zusammengefaßt. Es läßt sich jetzt folgende Proportion aufstellen:

$$\frac{U_x}{U_m} = \frac{R_e}{R_p \parallel R_e}$$

bzw. ausgeschrieben

$$\frac{U_x}{U_m} = \frac{R_p (R_p + R_e)}{R_p \cdot R_e} = \frac{R_p + R_e}{R_e}$$

$$U_x = U_m (1 + R_p/R_e)$$

Beispiel:

$R_i = 1\ M\Omega$, $R_a = 0{,}3\ M\Omega$, $R_g' = 1\ M\Omega$. Das Röhrenvoltmeter hat einen R_e von $1\ M\Omega$, es zeigt 350 mV (U_m) an. Wie groß ist die tatsächliche Spannung U_x?

Der Wert von R_p ist 0,187 MΩ. Es ist

$$U_x = 350\ (1 + 0{,}187/1) = 350 \cdot 1{,}187;$$

$$\underline{\underline{U_x = 410\ mV.}}$$

Bisher war nur von NF-Spannungsmessungen an den Röhrenanoden die Rede. Da Anoden Gleichspannung führen, zieht man bei Messungen das auf dem gleichen Potential liegende Gitter der nächsten Stufe vor. Solche Messungen sind jedoch nur bei mittleren Frequenzen exakt, bei denen

der Einfluß des Koppelkondensators vernachlässigt werden kann.

Da Verstärkungsmessungen immer bei mittleren Frequenzen (empfohlener Wert: 1000 Hz) vorgenommen werden, ist diese Voraussetzung erfüllt. Das Messen am Gitter der folgenden Stufe anstelle des Messens an der Anode hat aber noch den Nachteil, daß das Gitter im allgemeinen „hochohmiger" ist. Bei Messungen am Gitter werden leichter Brummstreuungen eingefangen. Dies ist bei Messungen an Vorstufen von empfindlichen Verstärkern (Mikrofonverstärkern) stets zu beachten. Verstärkungsmessungen am kompletten Verstärker lassen sich bequem mit der auf S. 39 beschriebenen Meßhilfe vornehmen. Da dort ausführlich auf die Art derartiger Messungen eingegangen wird, kann hier davon abgesehen werden.

Wichtig bei allen Verstärkermessungen ist, daß der Verstärker unter Betriebsbedingungen arbeitet (mit allen Abschirmungen, korrekt abgeschlossen) und durch die Messung nicht übersteuert wird. Unter „Verstärkung" versteht man das Verhältnis von Ausgangs- zu Eingangsspannung bzw. dessen logarithmisches Maß 20 lg U_{aus}/U_{ein} in dB. Mit zwei Spannungsmessungen (möglichst mit dem gleichen Meßgerät, um nur einen kleinen Meßfehler zu erhalten) läßt sich auf diese Weise einfach die Verstärkung eines Gerätes bestimmen.

Ein Wort noch zur Messung der maximalen Ausgangsleistung bzw. der Ausgangsleistung schlechthin von Leistungsverstärkern:

Hier sind prinzipiell verschiedene Methoden denkbar. Strom-Spannungsmessungen scheiden aus, da Wechselstrommesser meist nicht sehr genau sind, besonders bei Tonfrequenzen und bei großen Strommeßbereichen. Bewährt hat sich die Messung der Klemmenspannung am Verbraucherwiderstand. Hierzu wird an den Ausgang des Verstärkers ein induktionsfreier Ohmscher Widerstand ausreichender Belastbarkeit angeschlossen (Achtung bei Drahtwiderständen, gelegentlich kann ihre Induktivität bei hohen Tonfrequenzen schon stö-

ren), dessen Wert mit dem Nennwert des Belastungswiderstands übereinstimmt. An diesem Widerstand wird mit einem möglichst genauen Instrument oder Gerät die Spannung gemessen (Bild 8). Die Leistung in dem Widerstand ist dann $N = \frac{U^2}{R}$.

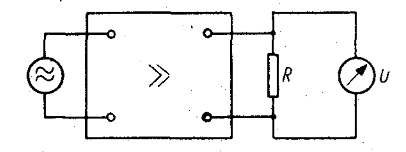


Bild 8
Prinzipschaltung zur Messung der Ausgangsleistung

Soll die maximale Ausgangsleistung gemessen werden, so liegt parallel zum Widerstand eine Klirrfaktormeßbrücke. Der Verstärker wird dann ausgesteuert, bis der maximal zulässige Klirrfaktor erreicht ist, der bei der größten Leistung auftreten darf. Die im Widerstand auftretende Leistung ist die gesuchte maximale Ausgangsleistung.

Ohne Klirrfaktormeßgerät ist die Ermittlung der maximalen Ausgangsleistung ungenau — man schaltet dann parallel zum Abschlußwiderstand einen Oszillografen und steuert den Verstärker aus, bis die sinusförmige Kurve der Ausgangsspannung gerade anfängt zu verzerren (Begrenzung der Spitzen).

Bei allen Leistungsmessungen erfolgt die Ansteuerung des Verstärkers aus einem Tonfrequenzgenerator, wenn nicht anders verlangt mit 1000 Hz. Mißt man die maximale Ausgangsleistung über den gesamten Frequenzbereich, so stellt man fast immer fest, daß sie bei hohen und tiefen Frequenzen geringer ist als bei mittleren.

Parallel zur maximalen Ausgangsleistung läßt sich die Eingangsempfindlichkeit des Verstärkers einfach messen:

Die Ausgangsleistung wird auf das Maß gebracht, für welches die Eingangsempfindlichkeit gelten soll (50 mW oder Vollaussteuerung). Dann wird die Eingangsspannung des

Verstärkers gemessen, die notwendig war, damit am Ausgang die betreffende Leistung auftrat. Bei dieser Messung muß der Lautstärkeregler des Verstärkers voll aufgedreht sein, Klangregler befinden sich in mittlerer Stellung.

3. DIE MESSUNG KLEINSTER NF-SPANNUNGEN

3.1 Zweck der Messung kleinster NF-Spannungen

Es kommt in der NF-Technik öfters vor, daß kleinste Wechselspannungen gemessen bzw. analysiert werden sollen. Dieser Fall tritt weniger bei Nutzspannungen auf (die kleinste Nutzspannung, z. B. am Ausgang eines Mikrofons, beträgt etwa 100 μV), sondern meist beim Messen von Fremd- und Geräuschspannungen.

Diese Spannungen tragen nicht zur Übertragung bei. Sie sind das, was am Ausgang einer Übertragungskette meßbar bleibt, wenn der Generator für die Nutzspannung abgeschaltet ist. Sind Fremd- bzw. Geräuschspannung groß genug, so kann man sie auch während der Übertragung hören (etwa bei leisen Stellen oder Sprechpausen).

Das wichtigste ist zweifellos die Messung von Fremd- und Geräuschspannung. Beide unterscheiden sich nur dadurch, daß die Fremdspannung direkt, die Geräuschspannung über dem Umweg eines Bewertungsfilters gemessen wird (Bild 9). Das Filter trägt den Eigenschaften des menschlichen Gehörs Rechnung, es ist aber nicht mit dem sogenannten Ohrkurvenfilter gleichzusetzen. Da für den Amateur die Fremdspannung wichtiger (weil einfacher meßbar) ist, wird in Zukunft nur noch von dieser die Rede sein. Messungen der Geräuschspannung können sinngemäß nach den beschriebenen Verfahren durchgeführt werden.

Die Größenordnung der Fremdspannungen:

0,5 ... 10 mV bei Leistungsverstärkern (auf 100-V-Ausgang bezogen);
50 μV ... 2 mV bei Vorverstärkern;
2,5 ... 20 μV bei Mikrofonverstärkern (einstufig).

Aus der Größe der Fremdspannungen ergibt sich bereits, daß sie mit amateurmäßigen Mitteln nur schwer meßbar

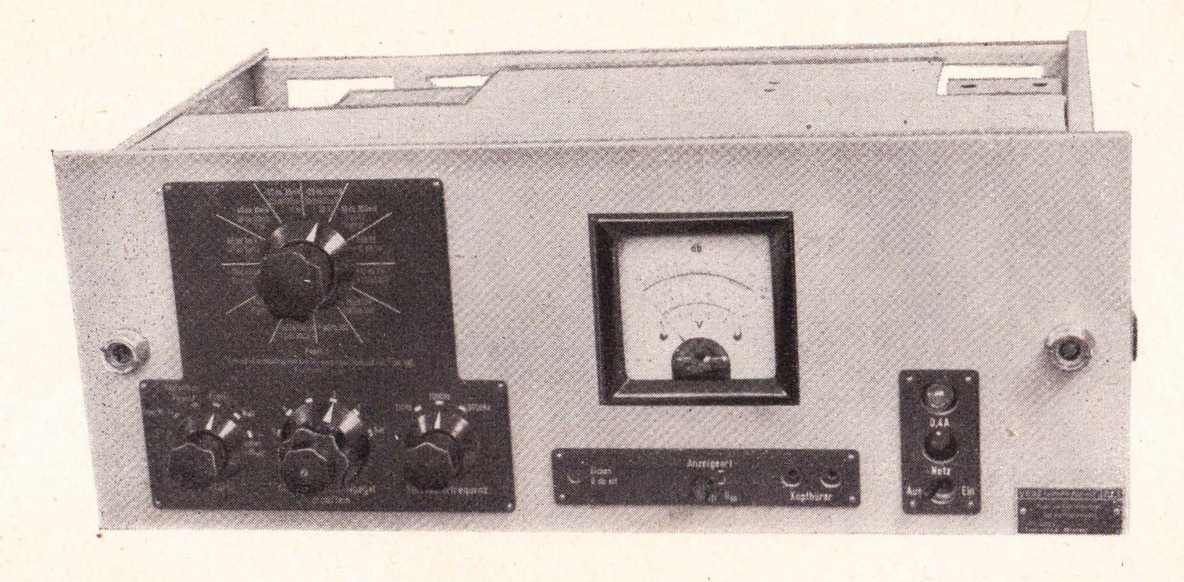


Bild 9 Ein Gerät zur Messung von Fremd- und Geräuschspannungen (Foto: VEB Funkwerk Köpenick)

sind (Ausnahme: Fremdspannung des Leistungsverstärkers am 100-V-Ausgang). Sie setzen sehr empfindliche Röhren- bzw. Transistorvoltmeter voraus. Außerdem dürfen die Meßleitungen selbst keine Fremdspannung aufnehmen, die das Meßergebnis verfälschen kann. Abgeschirmte Leitungen, einwandfreie Erdungen des Meßgerätes und die Abwesenheit stark streuender anderer Geräte (magnetischer Spannungsregler) sind Bedingung für Fremdspannungsmessungen.

Zum Ausgleich gibt es auch eine Erleichterung:

Da Fremdspannungen meist keinen festen Wert besitzen, sondern schwanken — Unregelmäßigkeiten in der Röhrenemission der Vorstufe wirken sich bereits aus —, kommt es nicht auf jene exakte Messung an, die etwa bei Verstärkungsmessungen erforderlich ist.

3.2 Erweiterung unempfindlicher Meßgeräte für Fremdspannungsmessung

Das Haupthindernis bei Fremdspannungsmessungen ist meist die zu geringe Empfindlichkeit des vorhandenen Röhren- bzw. Transistorvoltmeters. Dem kann durch das Vorschalten eines Meßverstärkers unmittelbar vor das Meßgerät begegnet werden. Bild 10 zeigt eine Schaltung für Meßverstärker, die bereits in der Broschüre „NF-Verstärker" erklärt wurde.[3] Eicht man den Verstärker für 1000fache Verstärkung, so wird der Spannungsbereich des Meßgerätes entsprechend erweitert. Sollen Spannungen unter 50 μV gemessen werden, so empfiehlt sich die Heizung des Meßverstärkers mit Gleichstrom. Bei Gleichstromheizung können Spannungen von einigen μV noch gemessen werden, allerdings stört hier schon die Eigenfremdspannung des Meßverstärkers. Kleinere Spannungen kommen kaum vor, in Amateurgeräten jedenfalls nicht.

[3] *Klaus K. Streng, NF-Verstärker, Reihe „Der praktische Funkamateur", 1962, Bd. 25.*

Der Aufbau des Meßverstärkers stellt einige Anforderungen. Die erste Röhre muß federnd gelagert werden, beide Kaskodestufen sind abzuschirmen. Die Bauelemente innerhalb der einzelnen Kaskodestufe werden möglichst kurz an der Röhrenfassung befestigt. Nach Möglichkeit sind 0,1-W-Schichtwiderstände zu verwenden. Kürzeste Leitungsführung ist Bedingung. Es kann erforderlich sein, die erste Röhre auszusuchen bzw. „einzubrennen", da einige Exemplare der ECC 81 starke Emissionsschwankungen zeigen, die die Fremdspannung verschlechtern.

3.3 Die Analyse der Fremdspannung

Oft ist es von Bedeutung, nicht nur die Größe der Fremdspannung zu kennen, sondern auch zu wissen, woraus sie besteht.

Beispiel:

Ein Amateur hat einen Verstärker gebaut. Bei der Messung der Fremdspannung zeigt sich eine größere Spannung als erwartet. Diese höhere Fremdspannung kann durch ungünstigen Aufbau bedingt sein (der Netztransformator streut auf die Vorstufen ein oder falsche Leitungsverlegung). Sie kann aber auch von einer defekten Röhre herrühren (Übergangswiderstand zwischen Heizfaden und Katode). Höhere Fremdspannungen können auch durch ein starkes Rauschen bedingt sein (erste Röhre oder Bauelemente der ersten Stufe). Und schließlich kann auch eine Stufe schwingen.

Exakte Kenntnis der Ursache liefert nur die genaue Untersuchung. Hierfür wäre es wichtig, z. B. die Frequenz der Fremdspannung zu kennen. Ein 50-Hz-Brummen würde auf eine Einstreuung aus dem Heizkreis oder vom Netztrafo hindeuten, ein 100-Hz-Brummen auf ungenügende Siebung der Anodengleichspannung oder auf Einstreuungen aus dieser. Ein Schwingen (das mit dem Kopfhörer nicht feststellbar ist) wäre eine Wechselspannung hoher Frequenz (bis zu einigen hundert kHz), die meist verzerrt ist. Ein Rau-

schen schließlich besteht aus einem Frequenzgemisch ohne definierte Amplitude, das bei hoher Kippfrequenz gewisse Ähnlichkeiten mit dem „Grieß“ auf den Schirmen verrauschter Fernsehempfänger aufweist.

Fremdspannungen sind in der Regel zu klein, um direkt auf dem Schirm eines Katodenstrahloszillografen sichtbar gemacht werden zu können. Der Kleinstoszillograf „Oszi 40“ hat eine Empfindlichkeit von 150 mV/cm. Steht ein Exemplar des beschriebenen Meßverstärkers zur Verfügung, so würde mit ihm die Empfindlichkeit auf 150 μV/cm gesteigert, ein für die meisten Fälle ausreichender Wert. Am günstigsten ist es jedoch, wenn das Röhren- oder Transistorvoltmeter, das für die Messung der Fremdspannung verwendet wird, einen Ausgang zum Anschluß des Oszillografen aufweist (Kopfhörerausgang). Man „sieht“ dann die Spannung, die man mißt. Gelegentlich ist auch das Abhören der Spannung von Nutzen. Mit einiger Übung kann der Amateur aus Klangbild, Meßergebnis und Oszillogramm schnell auf die Ursache der Fremdspannung schließen bzw. geeignete Maßnahmen zu ihrer Verringerung treffen.

3.4 Woran erkennt man, daß ein Verstärker schwingt?

Die Frage scheint naiv, dennoch soll näher darauf eingegangen werden. Selten erfüllt der schwingende Verstärker eine Bedingung, die eine sofortige und eindeutige Aussage zuläßt (etwa Heul- oder Pfeiftöne im angeschlossenen Lautsprecher bei kurzgeschlossenem Verstärkereingang). Es kommt sehr häufig vor, daß ein Verstärker außerhalb des Tonfrequenzbereichs schwingt, sogar im UKW-Bereich. Ehe man dies feststellt, kann eine Endröhre schon defekt sein.

Beim Selbstbau kommt es vor, daß durch ungünstigen Aufbau der Verstärker schwingt. Seltener tritt ein Schwingen durch einen Materialfehler auf. Der erste Fall ist der „bösartigere“, weil hier alle möglichen Ursachen in Betracht

kommen. Das Ermitteln der Ursachen gehört nicht in diese Broschüre, doch sollen einige Wege gezeigt werden, auf denen Schwingungen feststellbar werden.

Das eindeutigste und sicherste Mittel ist das Beobachten der Verstärkerausgangsspannung mit einem Katodenstrahloszillografen. Selbst hohe Frequenzen, die vom Oszillografen nicht mehr aufgelöst werden können, sind als breiter, verwaschener Strich auf dem Schirm kenntlich. Schwingen der Endröhre (besonders gefährlich) macht sich auch in von den Sollwerten abweichender Gittervorspannung und Anodenstrom bemerkbar. Dabei tritt in der Regel ein Glühen des Schirmgitters auf (bei der EL 84 gut sichtbar). UKW-Schwingungen der Endröhre verändern ihre Amplitude, wenn man die Röhre mit der Hand anfaßt.

Kippspannungen langsamer Frequenz (durch ungenügende Entkopplung der Verstärkerstufen bedingt) sind als charak-

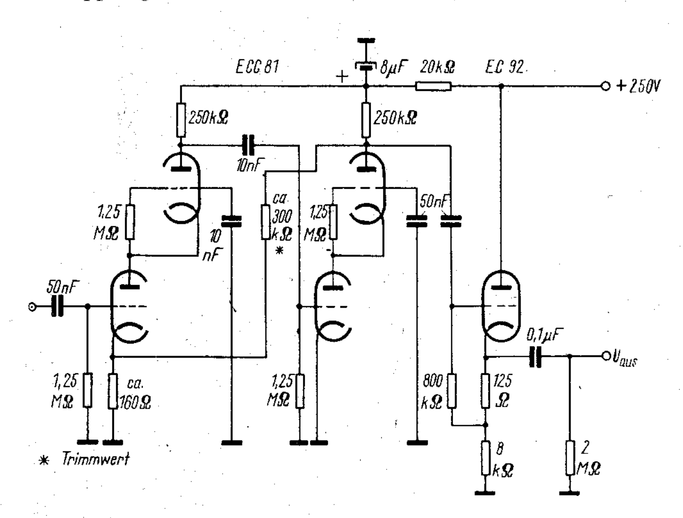


Bild 10 Meßverstärker zur Erweiterung des Meßbereiches von Röhrenvoltmetern und Katodenstrahloszillografen

teristisches „motor-boating“ am Verstärkerausgang hörbar; das Geräusch hat große Ähnlichkeit mit dem eines Zweitakt-Motors. Gleichzeitig verändern sich die Anodenströme der am Schwingungsvorgang beteiligten Stufen ruckartig.

Schwingungen müssen durchaus nicht bei allen Betriebszuständen des Verstärkers gleichermaßen auftreten. Die Stabilität eines Verstärkers kann erst dann mit Sicherheit angenommen werden, wenn er bei den verschiedenen Aussteuerungen mit wechselnden Frequenzen zu keinem Zeitpunkt ins Schwingen gerät. Mit Hilfe eines Tongenerators und eines Oszillografen läßt sich dies leicht feststellen. Dabei ist besonders das Auftreten von Schwingungen bei bestimmten Aussteuerungen zu beachten.

4. MESSUNGEN DER FREQUENZABHÄNGIGKEIT

Alle Verstärker, aber auch viele Dämpfungsglieder und alle Filter zeigen bestimmte frequenzabhängige Eigenschaften innerhalb des Übertragungsbereichs. Die wichtigste derartige Größe ist die Frequenzabhängigkeit der Verstärkung bzw. Dämpfung. (Diese Frequenzabhängigkeit der Verstärkung wird oft unkorrekterweise als „Frequenzgang" bezeichnet.) In NF-Verstärkern verlangt man meist eine geringe Frequenzabhängigkeit der Verstärkung innerhalb des Übertragungsbereichs — die zugelassenen Abweichungen sind sehr gering (Größenordnung: 0,1 ... 0,5 dB) und erfordern Präzisionsgeräte bzw. sinnvolle Meßschaltungen, um nicht durch die ungünstige Summierung von Meßfehlern den Wert der Messung in Frage zu stellen. Der andere Fall — die Forderung bestimmter großer Frequenzabhängigkeiten von Verstärkung und Dämpfung (Filter) — tritt seltener auf und ist meist meßtechnisch leichter zu erfüllen.

Sehr häufig mißt der Anfänger die Ein- und Ausgangsspannung des zu messenden Vierpols bei verschiedenen Frequenzen, möglichst mit zwei Meßgeräten. Diese Methode ist im höchsten Maße ungenau. Folgende Fehler entstehen dabei:

a) der Frequenzgangfehler von Meßgerät 1;

b) der Frequenzgangfehler von Meßgerät 2;

c) Ablesefehler.

Da sich im ungünstigsten Falle alle Fehler in der gleichen Richtung auswirken können, ist die Messung einer Frequenzabhängigkeit innerhalb der zugelassenen Toleranz von 0,1 ... 0,5 dB sinnlos. Bei Verwendung von nur einem Meßgerät, das abwechselnd an Ein- und Ausgang des zu messenden Vierpols geschaltet wird, bleibt der resultierende Meßfehler gering. Am kleinsten ist er, wenn der Spannungs-

bereich des Meßgeräts während der beiden Messungen nicht umgeschaltet zu werden braucht. Die Frequenzabhängigkeit des Meßgeräts (ohne Umschaltung) wirkt sich bei beiden Messungen gleich aus, d. h. fällt aus der Messung heraus. Der Ablesefehler wird besonders dann gering, wenn man eine der beiden zu messenden Spannungen (Eingangsspannung) über die Frequenz konstant hält, d. h., das Meßgerät hierbei auf einen gut abzulesenden Zeigerausschlag einstellt. Die andere Spannung weist meist „krumme" Werte auf. Da der Zeigerausschlag oft zwischen zwei Skalenstrichen liegt, muß der genaue Wert geschätzt werden.

Eine Meßschaltung, die die Fehler 1 und 2 völlig vermeidet und Fehler 3 auf ein Minimum beschränkt, zeigt Bild 11.

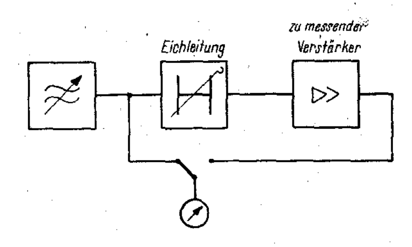


Bild 11
Messung der Verstärkungsfrequenzabhängigkeit mit einem Meßinstrument und einer Eichleitung

Die Generatorspannung wird gemessen und über eine Eichleitung (geeichtes einstellbares Dämpfungsvierpol) auf den Eingang des zu messenden Verstärkers gegeben. Die Ausgangsspannung des Verstärkers mißt man mit dem gleichen Instrument wie die Eingangsspannung (Umschalter). Die Dämpfung der Eichleitung wird bei jeder Frequenz so eingestellt, daß beide Spannungen — Generator- und Verstärkerausgangsspannung — gleich groß sind. Dann entspricht die Verstärkung der eingestellten Dämpfung der Eichleitung. Der Frequenzfehler der Eichleitung (unterschiedliche Dämpfung bei verschiedenen Frequenzen) kann bei handelsüblichen Ausführungen bedenkenlos für den Tonfrequenzbereich vernachlässigt werden.

Selbstverständlich muß die Eichleitung beidseitig richtig angepaßt arbeiten (Quell- und Abschlußwiderstand müssen mit dem Wellenwiderstand übereinstimmen), wie überhaupt der korrekte Abschluß bzw. die korrekte Anpassung sämtlicher Geräte bei allen Messungen vorausgesetzt wird.

Die beschriebene Meßschaltung setzt allerdings den Besitz einer guten Eichleitung voraus. Bei Amateur und Funker ist das nicht der Fall, bestenfalls im Labor, das der Amateur gelegentlich mitbenutzen darf. Für den Hausgebrauch ist die beschriebene Meßschaltung leider nicht realisierbar. Deshalb sei im folgenden eine (allerdings nicht so genaue) Variante mit einfacheren Meßmitteln beschrieben.

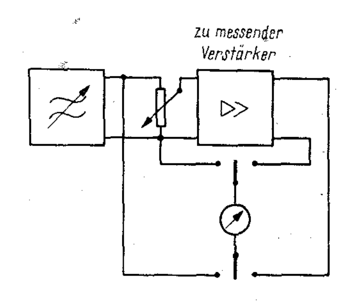


Bild 12
Einfachere Ausführung der in Bild 11 gezeigten Meßschaltung (Potentiometer statt Eichleitung)

Bild 12 zeigt die Meßanordnung. Über ein niederohmiges Dämpfungsglied (Potentiometer bzw. Widerstandsvierpol) wird die Generatorspannung so weit gedämpft, daß die Ausgangsspannung von Tongenerator und Verstärker bei der Bezugsfrequenz 1000 Hz übereinstimmen. Die Messung wird am besten in einem gut ablesbaren Skalenmeßbereich, etwa $^2/_3$ Vollausschlag, vorgenommen. Bei gleicher Eingangsspannung wiederholt man dann die Messung mit verschiedenen Frequenzen (Dämpfung hinter dem Generator nicht verändern!) und notiert die verschiedenen Zeigerausschläge für die Ausgangsspannung. Voraussetzung für den Sinn dieser Messung ist, daß die Dämpfung am Verstärkereingang wirklich für alle Frequenzen konstant wird — deshalb

die eingangs aufgestellte Forderung nach ihrer Niederohmigkeit.

Bild 13 zeigt eine einfache Meßhilfe zur Messung von Verstärkungsfaktoren und Frequenzabhängigkeiten des Verstärkungsfaktors. Mit dem Stufenschalter Sch_1 wird der etwa zu erwartende Verstärkungsfaktor grob eingestellt (Bereich $1 \ldots 10^6$). Der Regler P_1 (10 kΩ) dient zur Feineinstellung. Er trägt eine geeichte Skala für die Zwischenwerte 1 ... 10. Es muß ein arithmetischer (linearer) Regler verwendet werden. An die Klemmen „Indikator" wird ein NF-Röhrenvoltmeter angeschlossen, dessen Eingangswiderstand > 100 kΩ sein muß.

Die Messung geht wie folgt vor sich:

An die Klemmen 1–2 wird der Eingang des von einem Tongenerator gespeisten Verstärkers angeschlossen, an 3–4

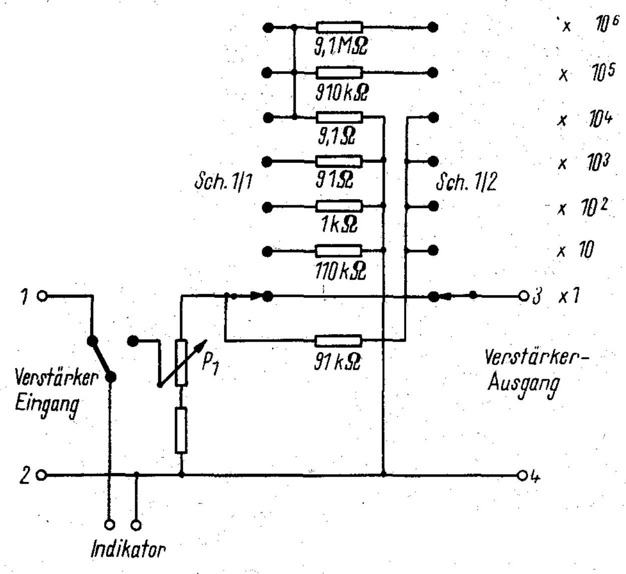


Bild 13 Einfache Schaltung zur Messung von relativer und absoluter Verstärkung (unter P_1 liegender R = 1,1 kΩ)

der korrekt abgeschlossene Ausgang. Mit Sch_1 und P_1 ermittelt man bei einer mittleren Frequenz (1000 Hz) den Verstärkungsfaktor. Zur Messung der Frequenzabhängigkeit der Verstärkung wird bei unveränderten Stellungen von Sch_1 und P_1 gemessen. Hierzu stellt man den Tongenerator bei konstanter Spannung auf die interessierenden Frequenzen ein. Ist bei einer Frequenz die Frequenzabhängigkeit der Verstärkung Null, so muß der Ausschlag des Röhrenvoltmeters in Stellung 3—4 gleich groß wie bei der mittleren Frequenz sein. Bei den höchsten und tiefsten Frequenzen ergibt sich ein anderer Ausschlag. Die Frequenzabhängigkeit der Verstärkung ergibt sich dann aus der Beziehung

$$b = 20 \lg \frac{U_{1000\,Hz}}{U_{f,\,x}} \text{ [dB]},$$

bzw. wenn der Ausschlag bei der betreffenden Frequenz größer als der bei 1000 Hz ist,

$$b = 20 \lg \frac{U_{f,\,x}}{U_{1000\,Hz}} \text{ [dB]}.$$

Beispiel:

Der Ausschlag des Röhrenvoltmeters beträgt bei 1000 Hz 0,25 V. Bei der Frequenz 30 Hz wird am RV die Spannung 0,18 V gemessen. Die Verstärkung bei 30 Hz ist um

$$20 \lg \frac{0{,}25}{0{,}18} = 2{,}7 \text{ dB}$$

niedriger als bei 1000 Hz.

Neben der Messung der Frequenzabhängigkeit der Verstärkung erlaubt das in Bild 13 beschriebene einfache Gerät auch die absolute Messung der Spannungsverstärkung. Diese kann grob am Schalter Sch_1 und fein am geeichten Potentiometer P_1 abgelesen werden. Die Eichung von P_1 erfolgt von 1 . . . 10 (linearer Maßstab) oder logarithmisch (0 . . . 20 dB). Im letzteren Falle empfiehlt sich die Verwendung eines logarithmischen Reglers für P_1, außerdem wird Sch_1 zweckmäßigerweise ebenfalls in dB geeicht (zu Stufen von je 20 dB). Natürlich kann an die kleine Meßhilfe keine

übertriebene Genauigkeitsforderung gestellt werden, für viele Zwecke leistet sie jedoch ausgezeichnete Dienste.

Welche Fehler macht man bei derartigen Messungen oft? Zunächst werden die Bedingungen, unter denen die Messungen erfolgen, nicht kontrolliert. So kann es — beispielsweise — von Bedeutung sein, bei welcher Aussteuerung die Frequenzabhängigkeit der Verstärkung gemessen wird. Dies gilt besonders bei großen Leistungsverstärkern. In solchen Fällen ist es ratsam, die Messung bei zwei verschiedenen Aussteuerungen vorzunehmen. Keinesfalls darf jedoch der Verstärker während der Messung übersteuert werden, da dann ein linearer Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgangsspannung nicht mehr gegeben ist.

Beim Auftragen der Frequenzabhängigkeitskurve — zweckmäßigerweise auf linear-logarithmischem Papier — ergeben sich beim Anfänger oft Sprünge bzw. Unstetigkeiten, die physikalisch schwer zu deuten sind (Bild 14). Hierzu mag man sich folgendes einprägen:

Die Frequenzabhängigkeit der Verstärkung von RC-gekoppelten Stufen zeigt grundsätzlich einen kontinuierlichen Verlauf. Bei Stufen, die auf Übertrager arbeiten (Endstufen), kann bei hohen Frequenzen eine Resonanzspitze (Streuresonanz) auftreten. Durch Vergleich mit den Meßergebnissen des Übertragers wird dies bestätigt. Befinden sich keine Filter im Verstärker, so können normalerweise keine Spitzen, Sprünge oder Unstetigkeiten in der Kurve auftreten. Falls es sich nicht um Meßfehler (meist Ablesefehler) handelt, muß ihre Ursache untersucht werden.

Folgende Hinweise für die Deutung von Abweichungen in der Frequenzgangkurve seien gegeben:

Tiefenabfall deutet

a) auf zu kleine Koppelkondensatoren zwischen den einzelnen Stufen,

b) auf zu geringe Primärinduktivität des Ausgangsübertragers bzw. einen Windungskurzschluß.

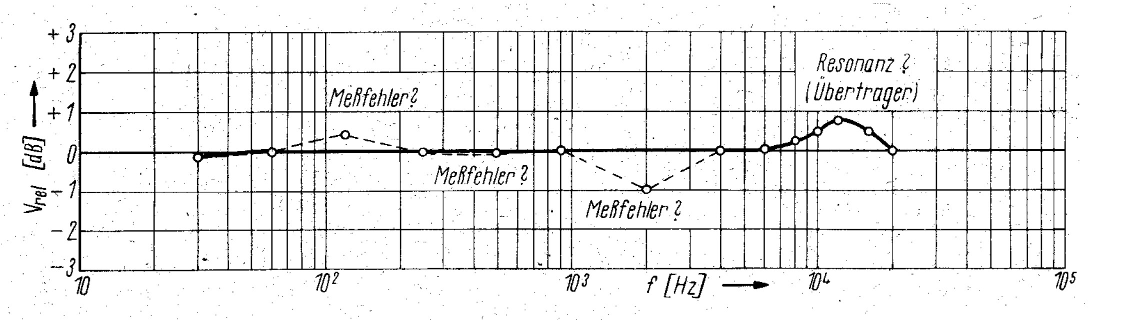


Bild 14 Die Deutung der Kurve Frequenzabhängigkeit der Verstärkung (Beispiel)

Höhenabfall deutet

a) auf zu große Schaltkapazitäten (Achtung! Abgeschirmte Leitungen weisen je nach Ausführung eine mehr oder weniger große Kapazität auf!) oder

b) auf zu große Übertragerkapazitäten hin.

Höhenanstieg ist sehr selten. Er kann verursacht werden

a) von der Streuinduktivität des Übertragers,

b) von einer Mitkopplung durch unsaubere oder unzweckmäßige Verlegung „heißer" Leitungen, die noch nicht zum Schwingen ausreicht.

Tiefenanhebung ist meist das Ergebnis eines zu kleinen Serienkondensators in der Gegenkopplung.

In allen bisher beschriebenen Fällen behält die Kurve einen kontinuierlichen Verlauf. Jedoch kann es auch Unstetigkeiten bzw. Sprünge in der Kurve geben. Am häufigsten ist der Fall, daß der Verstärker schwingt. Doch besonders bei Verstärkern mit Gegentakt-Endstufen erlebt man gelegentlich auch, daß diese ohne Ansteuerung zwar stabil sind, jedoch bei einer bestimmten Aussteuerung, und manchmal auch nur bei bestimmten Frequenzen, anschwingen. Das einfachste und sicherste Mittel, derartige Schwingungen zu erkennen, bietet der Katodenstrahloszillograf. Er wird beim Messen der Frequenzabhängigkeit der Verstärkung an den Verstärkerausgang angeschlossen. Bei jeder Meßfrequenz muß sich die Sinuskurve der Spannung einwandfrei auflösen lassen.

4.1 Messungen mit Rechteckspannungen

Sehr beliebt ist die Methode, die Frequenzabhängigkeit der Verstärkung (überschlagsmäßig) mit Hilfe eines Rechteckwellengenerators und eines Katodenstrahloszillografen zu überprüfen. Die Messung geht sehr schnell vonstatten und ermöglicht eine sofortige Aussage über den Übertragungsbereich des betreffenden Gerätes. Sie erlaubt nicht die

Messung der jeweiligen (relativen) Verstärkung bei den einzelnen Frequenzen. Die Prüfung mit Rechteckspannungen ersetzt deshalb nicht die exakte Messung der Frequenzabhängigkeit der Verstärkung wie vorstehend beschrieben.

Ohne hier auf die Theorie der Impulsübertragung im einzelnen einzugehen, sei die Zulässigkeit der Prüfung mit Rechteckimpulsen kurz begründet.

Ein Rechteckimpuls läßt sich mit Hilfe der Fourieranalyse in die Grundwelle und entsprechende Oberwelle zerlegen. Dabei zeigt sich, daß zahlreiche Oberwellen an der Bildung des Impulses beteiligt sind. Ihre Amplituden nehmen mit der Ordnungszahl der Oberwellen nur langsam ab (um so langsamer, je kürzer der Impuls ist). Bild 15 zeigt das Frequenzspektrum eines Impulses. Als Faustregel für den Rechteckimpuls gilt, daß mindestens die ersten 9 Oberwellen in ihm zu berücksichtigen sind. Bei Impulsverstärkern spielt dies begreiflicherweise eine große Rolle.

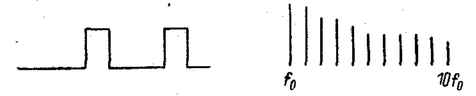


Bild 15 Der Impuls und sein Frequenzspektrum (nicht maßstabgerecht)

Sind Impulse derart „breitbandig“, dann ergibt sich eine weitere Schlußfolgerung. Das Aussehen eines durch einen Verstärker geleiteten Impulses erlaubt Rückschlüsse auf dessen obere Übertragungsfrequenzgrenze (Grenzfrequenz).

Nicht ganz so leicht zu begründen ist, daß auch die untere Übertragungsfrequenzgrenze sich im Aussehen des Impulses ausprägt. Vergegenwärtigen wir uns, daß zur Übertragung eines idealen Rechteckimpulses Gleichstromverstärker notwendig sind. Alle Tonfrequenzverstärker sind außerstande, ein konstantes Gleichspannungspotential (wie es das Impulsdach darstellt) korrekt zu übertragen. Zusammengefaßt kann man sagen, daß die Impulsflanke „die hohen Frequenzen“,

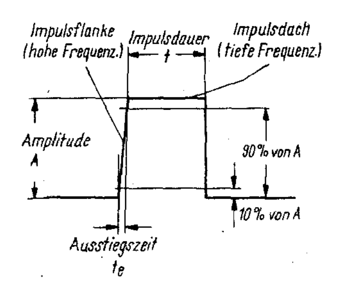


Bild 16
Die Definition der Bezeichnungen beim Impuls

das Impulsdach „die tiefen Frequenzen“ des Impulses enthält (Bild 16).

Natürlich ist dies eine sehr grobe Vereinfachung der tatsächlichen Verhältnisse.

Folgende „Faustregeln“ zur Beurteilung der Übertragungseigenschaften eines Verstärkers lassen sich auf Grund des durch diesen geleiteten Impulses aufstellen:

a) Ein waagerechtes Impulsdach deutet darauf hin, daß noch keine Verstärkungsänderung bei den tiefen Frequenzen erfolgt. Ein Abfallen des Daches deutet auf ein Voreilen der Phase, ein Ansteigen des Daches auf ein Nacheilen der Phase hin. Ein nach oben gewölbtes Dach bedeutet einen Verstärkungsanstieg bei tiefen Frequenzen, ein nach unten gewölbtes Impulsdach einen Verstärkungsabfall der Tiefen. Bild 16 zeigt die idealisierten Impulsformen. In der Praxis treten fast immer mehrere Verformungen des Impulses gleichzeitig auf. Es gehört etwas Routine dazu, aus dem Aussehen des Impulses sofort auf die Übertragungseigenschaften des betreffenden Verstärkers zu schließen.

b) Eine senkrechte Impulsflanke deutet auf eine sehr hohe obere Grenzfrequenz hin. Bedingt durch die obere Grenzfrequenz tritt ein verschieden starkes „Verschleifen“ der Impulse ein, die Anstiegszeit hat eine mehr oder weniger endliche Länge. Je länger die Anstiegszeit, um so niedriger die Grenzfrequenz des Verstärkers. Für die

obere Grenzfrequenz (3 dB Abfall) kann man näherungsweise setzen:

$$f_o \approx \frac{0,35}{t_e}.$$

Hierin ist t_e die Anstiegszeit des Impulses in s, gemessen von 10 bis 90 Prozent der Impulsamplitude. Bedingung für die Anwendung der Faustregel ist, daß kein oder nur ein sehr geringes Überschwingen (< 5 Prozent) des Impulses vorhanden ist.

c) Ein Überschwingen des Impulses (Bild 17) deutet entweder auf eine nicht korrekte (übertriebene) L-Kompensation der hohen Frequenzen hin oder ist durch Übertrager verursacht. Wenn auch an Tonfrequenzverstärker in bezug auf Phasengang nicht jene hohen Anforderungen gestellt werden wie etwa an Videoverstärker, so sollte



Bild 17
Impuls mit Einschwingvorgängen

doch auch hier ein allzu großes Überschwingen vermieden werden. Ein korrekt aufgebauter NF-Verstärker weist kaum ein Überschwingen auf. Letzteres wird in erster Linie durch die sogenannte Streuresonanzspitze des Ausgangsübertragers verursacht (zu geringe Dämpfung). Dies wirkt sich in der Frequenzabhängigkeit der Verstärkung meist als „Spitze" aus (Bild 17).

4.2 Auswahl der Impulsgeräte

Impulsgeneratoren sind einfacher herzustellen als klirrarme Sinusgeneratoren. Im Prinzip besteht der Impulsgenerator aus einer Multivibratorschaltung, die von einem Tongenerator synchronisiert wird. Die folgenden Verstärkerstufen sorgen für die korrekte Ausgangsspannung des Gerätes, jedoch

müssen diese Stufen unbedingt „impulsfest“ sein, d. h. dürfen nicht selbst ein Verformen des Rechteckimpulses erzeugen.

Bild 18 zeigt den Multivibrator eines Rechteckwellengenerators vom VEB Werk für Fernmeldewesen, Bild 19 einen einfachen transistorisierten Multivibrator von H.-J. Fischer. Dieses Gerät läßt sich in sehr handlicher Form (als Prüf-

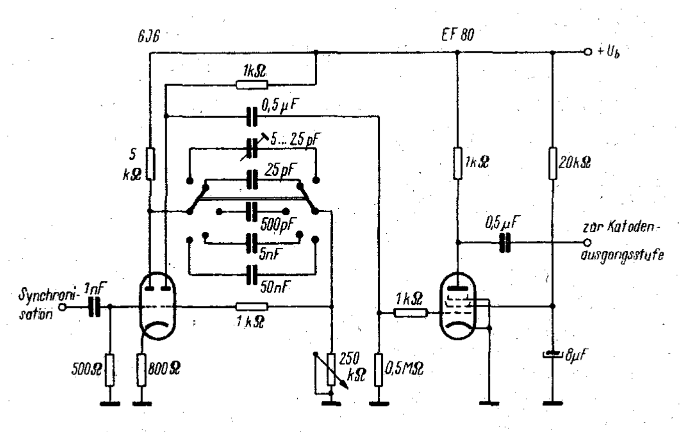


Bild 18 Impulsgenerator (Schaltung vom VEB Werk für Fernmeldewesen)

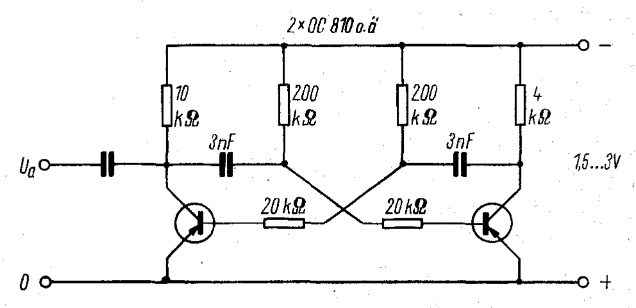


Bild 19 Transistorisierter Multivibrator als Impulserzeuger

stift) aufbauen und für oberflächliche Verstärkerprüfungen „auf Montage“ verwenden. Eine Synchronisation ist bei dem Transistor-Multivibrator nicht vorgesehen. Die Form der erzeugten Impulse genügt sehr hohen Ansprüchen allerdings nicht.

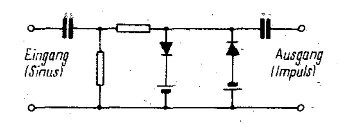
Schließlich soll noch auf eine Schaltung von Jakubaschk (Reihe „Der praktische Funkamateur“, Bd. 18) hingewiesen werden, die den Bedürfnissen und Möglichkeiten des Amateurs entgegenkommt. Es handelt sich um einen kombinierten Generator für Sinus- und Rechteckwellen.

Die Auswahl der Schaltungen ist keinesfalls vollständig, es gibt im Gegenteil eine Unmenge von Impulsgeneratorschaltungen in der Literatur, auf die hier nicht eingegangen werden kann.

Eine sehr einfache und unkomplizierte Lösungsmöglichkeit soll noch erwähnt werden: Schneidet man eine sinusförmige Spannung kurz oberhalb der Nullinie ab (Clipperschaltung), so entsteht ein beinahe rechteckförmiger Impuls. Durch Wiederholen des Vorganges wird die Flankensteilheit größer, ebenso durch die Wahl einer möglichst geringen „Abschneidespannung“. Erfahrungsgemäß genügt ein zweifaches Begrenzen schon hohen Ansprüchen. Als Clipperdioden verwendet man vorteilhaft Halbleiterdioden oder -flächengleichrichter; als Vorspannung, die die „Abschneidespannung“ bestimmt, genügt eine kleine Batterie. Verzerrungen der vorgeschalteten Verstärkerstufe können vernachlässigt werden, nicht aber das Impulsverhalten der nachgeschalteten Stufen. Bild 20 zeigt die Prinzipschaltung, mit der sich jeder Tongenerator in einen Impulsgenerator verwandeln läßt. Die Schaltung arbeitet weitgehend aperiodisch.

Schwieriger ist die Frage nach dem Oszillografen. Ausgesprochene Impulsoszillografen — für den Amateur unerschwinglich — besitzen einen speziellen Ablenkteil, in dem erst die Meßspannung (gegebenenfalls verzögert) die Zeitablenkung auslöst („triggern“). In den gewöhnlichen Oszillografen mit periodischem freilaufendem Kipp synchronisiert man den Impuls am besten so, daß mehrere Kurvenzüge auf den

Bild 20
Impulserzeugung durch „Clippen" (Prinzip)



Schirm geschrieben werden. Die Verstärkung des Meßverstärkers wird so groß wie möglich gewählt, um eindeutige Aussagen in bezug auf Überschwingen, Anstiegszeit usw. treffen zu können. Natürlich ist auf kleinen Schirmen wie beim „Oszi 40" kaum eine exakte quantitative Aussage möglich — aber in dieser liegt ja gar nicht der Sinn der Rechteckwellenprüfung, zumindest nicht beim Tonfrequenzverstärker.

4.3 Die Messung des Eingangsscheinwiderstands

Zu den Messungen der Frequenzabhängigkeit einer Größe gehören auch die Messungen des Ein- und Ausgangswiderstands von Filtern, Verstärkern usw. Im Laboratorium werden derartige Untersuchungen meist mit Hilfe einer Scheinwiderstandsmeßbrücke vorgenommen. Man erhält als Ergebnis entweder die reelle und imaginäre Komponente des betreffenden Eingangswiderstands oder seinen Betrag und den dazugehörenden Winkel. Beide Formen können mühelos ineinander überführt werden.

Für viele Zwecke genügt bereits die Kenntnis des Betrages des Scheinwiderstands. In diesem Falle vereinfacht sich die Messung, so daß sie auch mit amateurmäßigen Meßmitteln durchgeführt werden kann.

Der Eingangsscheinwiderstand von Geräten mit RC-Eingängen (Bild 21) bedarf fast nie einer Messung. Im mittleren Frequenzbereich ist praktisch allein der Widerstand R maßgebend, bei den hohen Frequenzen muß die kapazitive Belastung durch die parallelliegende Schalt- und Röhrenkapazität C_{ein} berücksichtigt werden. Der Widerstand ist fast immer bekannt, für C_{ein} kann (bei korrektem Aufbau des Gerätes) etwa 30 pF angesetzt werden. Da der RC-Ein-

gang fast stets sehr groß gegenüber dem Ausgangswiderstand des vorgeschalteten Gerätes ist, braucht er auch kaum gemessen zu werden.

Anders bei Geräten mit Übertragereingang. Dieser hat unter anderem den Vorteil, daß er „erdfrei" ausgeführt werden kann, d. h., die Polarität bzw. Symmetrie des vorgeschalteten Gerätes spielt keine Rolle. Bei Übertragereingängen kann die Messung des Eingangsscheinwiderstands bei den verschiedenen Frequenzen wichtig sein, wenn man feststellen will, wie weit das vorgeschaltete Gerät (bei den verschiedenen Frequenzen) belastet wird.

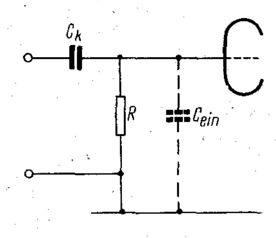


Bild 21
Die für den Eingangswiderstand wichtigen Glieder beim RC-Eingang

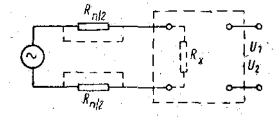


Bild 22
Zur Messung des Eingangsscheinwiderstands von symmetrischen Eingängen

Bild 22 zeigt die Meßschaltung. $R_{n/2}$ sind bekannte Widerstände, die groß gegenüber dem zu erwartenden Maximalwert des Eingangswiderstands gewählt werden (eventuell muß die Messung mit größeren Widerständen wiederholt werden). Diese Bedingung ist wesentlich. Nur wenn sie eingehalten wird, ist das Ergebnis der Messungen exakt.

Gemessen wird die Ausgangsspannung einmal bei direkter Speisung des interessierenden Verstärkers (oder Filters) durch den Generator (kleiner Generatorwiderstand erwünscht), das Resultat ist die Spannung U_1. Die Messung erfolgt dann bei unveränderter Ausgangsspannung des Generators mit den

vorgeschalteten Widerständen $R_{n/2}$, das Ergebnis ist der Spannungswert U_2.

Der gesuchte Betrag des Eingangsscheinwiderstands läßt sich dann wie folgt berechnen:

$$|R_x| \approx \frac{U_2 \cdot R_{n/2}}{U_1 - U_2}.$$

Die Messung wird zweckmäßigerweise bei verschiedenen Frequenzen wiederholt und die Ergebnisse in Kurvenform auf linear-logarithmischem oder doppellogarithmischem Papier zu einer Kurve zusammengefaßt (Bild 24).

4.4 Die Messung des Ausgangsscheinwiderstands

Wichtiger als die vorstehend beschriebene Messung des Eingangsscheinwiderstands ist die des Ausgangsscheinwiderstands. Besondere Bedeutung hat sie bei Leistungsverstärkern, da sie Aufschluß darüber gibt, wie groß der Ausgangswiderstand des Verstärkers gegenüber dem Belastungswiderstand (Schwingspule) ist. Im allgemeinen ist ein möglichst kleiner Ausgangswiderstand des Verstärkers erwünscht, um Einschwingvorgänge des Lautsprechers bei plötzlichem Amplitudenanstieg (Paukenschlag) zu verhindern. Deshalb verwendet man meist eine starke Spannungsgegenkopplung in der Endstufe, möglichst unter Einbeziehung des Ausgangsübertragers. Die dadurch erzielte Verringerung des Ausgangswiderstands läßt sich nach bekannten Beziehungen berechnen. Eine meßtechnische Überprüfung des Rechenwertes wird immer interessant sein. Dort, wo der Ausgangswiderstand nicht berechnet wurde, ist man ohnehin auf Messungen angewiesen.

Bild 23 zeigt die Meßschaltung. Der Verstärker wird eingeschaltet (betriebsfähiger Zustand), sein Eingang bleibt während der Messung kurzgeschlossen. Zweckmäßigerweise überprüft man mit einem Oszillografen oder einem Röhrenvoltmeter, daß der Verstärker nicht schwingt. Der Verstärkerausgang wird in Reihe mit einer Widerstandsdekade geschal-

tet und die Reihenschaltung mit einem Tonfrequenzgenerator (möglichst kleine Spannung) gespeist. Die Spannungsabfälle an Widerstandsdekade und Verstärkerausgang werden gemessen, die Dekade wird so lange verändert, bis beide Spannungen gleich groß sind. Dann sind auch die Widerstände gleich, d. h., der Betrag des Ausgangsscheinwiderstands entspricht dem Widerstandswert der Dekade.

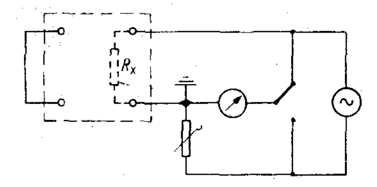


Bild 23
Zur Messung des Ausgangsscheinwiderstands von Geräten

Das Verfahren scheint komplizierter, als es ist. Bei den üblichen Leistungsverstärkern genügt u. U. bereits ein Vielfachmeßinstrument zur Messung der Spannungsabfälle; ein Röhrenvoltmeter ist besser, da mit kleineren Spannungen gearbeitet werden kann. Ist keine Widerstandsdekade verfügbar, so nimmt man an ihrer Stelle ein Potentiometer als Regelwiderstand, dessen jeweiliger Wert mit Gleichstrom gemessen werden kann (Brücke). Auch hier wird die Messung bei den verschiedenen Frequenzen wiederholt. Das Auftragen der Meßergebnisse zu einer Kurve gibt den in *Bild 24* gezeigten grundsätzlichen Verlauf des Ausgangswiderstands. Charakteristisch ist der Anstieg des Widerstands bei hohen Frequenzen, der durch die Streuinduktivität des Ausgangsübertragers bedingt wird. Da er die Wiedergabe der hohen Frequenzen beeinträchtigt, ist ein möglichst geringer Anstieg erwünscht.

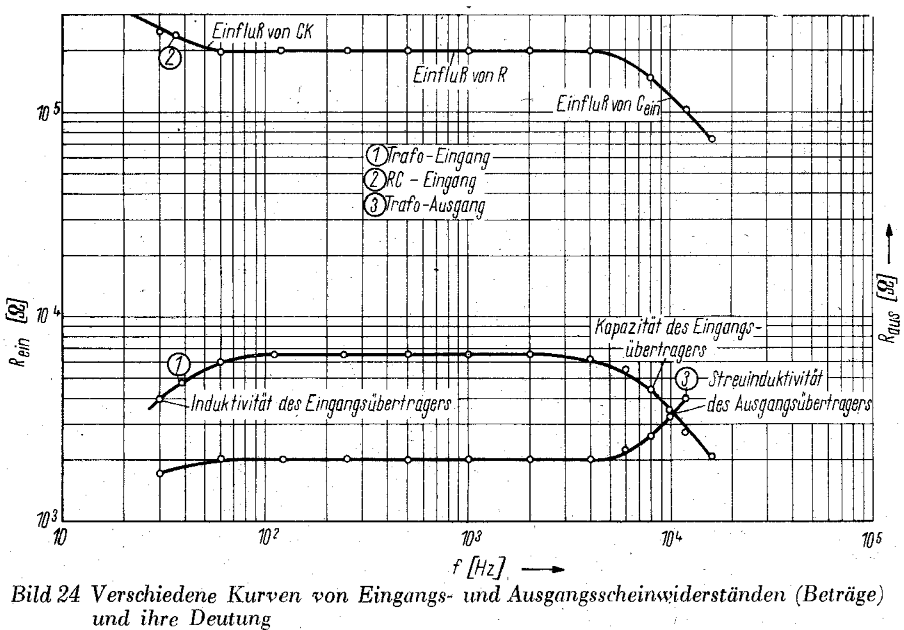


Bild 24 Verschiedene Kurven von Eingangs- und Ausgangsscheinwiderständen (Beträge) und ihre Deutung

5. DIE KLIRRFAKTORMESSUNG

Der Klirrfaktor bildet ein Maß (aber keinesfalls das einzige) für die nichtlinearen Verzerrungen eines Vierpols. Er ist wie folgt definiert:

$$k = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{U_{ges}}.$$

Dabei geht man davon aus, daß beim Fehlen von nichtlinearen Verzerrungen keine Oberwellen entstehen können, der Klirrfaktor hat dann den Wert Null. Da jede Röhren- oder Übertragerkennlinie gekrümmt ist, entstehen an ihr Oberwellen. Ihre Größe hängt von der Kennlinienkrümmung und der Aussteuerung ab. Deshalb ist die Angabe eines Klirrfaktors sinnlos, wenn nicht die Ausgangsspannung bzw. -leistung angegeben wird, bei der dieser Klirrfaktor gemessen wurde. Bei Verstärkern interessiert vor allem der Klirrfaktorwert bei Vollaussteuerung (Nenn-Ausgangsleistung). Darüber hinaus kann auch der Verlauf des Klirrfaktors mit der Aussteuerung gelegentlich von Interesse sein (Bild 25).

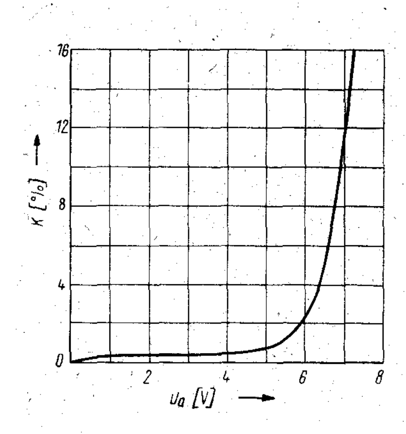


Bild 25
Beispiel für die Kurve Klirrfaktor in Abhängigkeit von der Ausgangsspannung

Der Klirrfaktor wird meistens bei einer mittleren Frequenz gemessen (1000 Hz), in besonderen Fällen bei mehreren Frequenzen. Im allgemeinen steigt der Klirrfaktor von Leistungsverstärkern (bei gleicher Aussteuerung) nach tiefen und hohen Frequenzen zu an. Für die Wiedergabe von Sprache und Musik ist dies in gewissem Sinne belanglos, da betrieblich tiefe und hohe Frequenzen niemals mit voller Amplitude auftreten. Klirrfaktormessungen bei Frequenzen über 5000 Hz sind ohnehin mit Vorsicht zu bewerten, da die Oberwellen dann unter Umständen durch die Wiedergabekurve des Verstärkers gedämpft werden — man mißt dann einen zu geringen Wert. Trotzdem können bei hohen Frequenzen erhebliche nichtlineare Verzerrungen auftreten, die sich als Differenzfrequenzen unangenehm im Klangbild bemerkbar machen.

Der Amateur verfügt oft nicht über ein Klirrfaktormeßgerät. In diesem Fall ist er auf das Ausleihen angewiesen oder er bringt den Verstärker zu einer Stelle, an der eine Meßmöglichkeit dieser Art gegeben ist. Sollten beide Wege nicht gangbar sein, so kann nur mit dem Katodenstrahloszillografen überprüft werden, ob der Verstärker unter normalen Betriebsbedingungen nicht übersteuert wird bzw. wo die Übersteuerungsgrenze liegt.

Die minimale Verzerrung einer sinusförmigen Spannung, die sich auf dem Schirm des Oszillografen erkennen läßt, hängt stark vom Schirmdurchmesser und der Linearität der Ablenkung des Oszillografen ab. Immerhin dürften Klirrfaktoren von $\geqq$ 5 Prozent zu sehen sein. Dieser Wert ist auch die Erklärung dafür, daß mit Hilfe des Oszillografen nur bestenfalls Übersteuerungskontrollen möglich sind: Ein Klirrfaktor von 5 Prozent ist (besonders bei mittleren und höheren Frequenzen) für einen hochwertigen NF-Verstärker zuviel.

5.1 Klirrfaktormessungen nach der Brückenmethode

Bild 26 zeigt das Prinzip der Meßbrücke. In einer Brücke wird die Grundwelle der Meßfrequenz herausgefiltert. Der

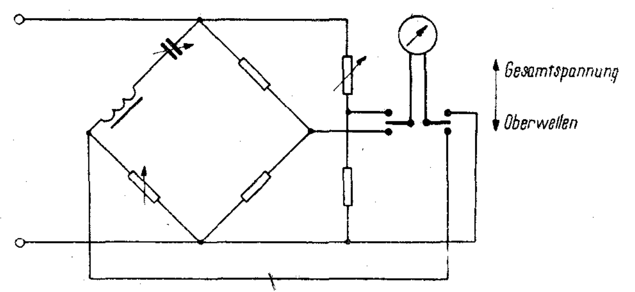


Bild 26 Prinzipschaltung der Klirrfaktormeßbrücke

verbleibende Spannungsanteil wird dann von Oberwellen verursacht. Durch Vergleich mit einem bekannten Bruchteil der Originalspannung kann die Größe des Klirrfaktors festgestellt werden.

In der Praxis bedarf das Einstellen der Brücke, d. h. das Ausfiltern der Grundwelle, einiger Übung. Es sind mehrere Regler (R und C bzw. L und C) so einzustellen, daß am Instrument ein möglichst kleiner Ausschlag abgelesen wird. Die einzelnen Einstellungen sind teilweise voneinander abhängig.

Bild 27 zeigt die Klirrfaktormeßbrücke 236a vom VEB Funkwerk Erfurt — ein im Laboratorium oft verwendetes Gerät. Es gestattet die Messung von Klirrfaktoren $\geqq$ 0,1 Prozent im Frequenzbereich 20 ... 10 000 Hz und enthält außerdem einen klirrarmen Generator für 4 Festfrequenzen.

5.2 Einfaches Klirrfaktormeßgerät

Ein sehr einfacher Klirrfaktormesser mit RC-Netzwerk, der allerdings nach einem von den üblichen Geräten differierenden Prinzip arbeitet, wurde von A. Tolk 1955 in der Zeitschrift „radio und fernsehen" angegeben. Bild 28 zeigt das leicht geänderte Schaltbild des Meßgerätes, mit dem Klirrfaktoren von 1 Prozent noch meßbar sind. Für die Dimensionierung gilt:

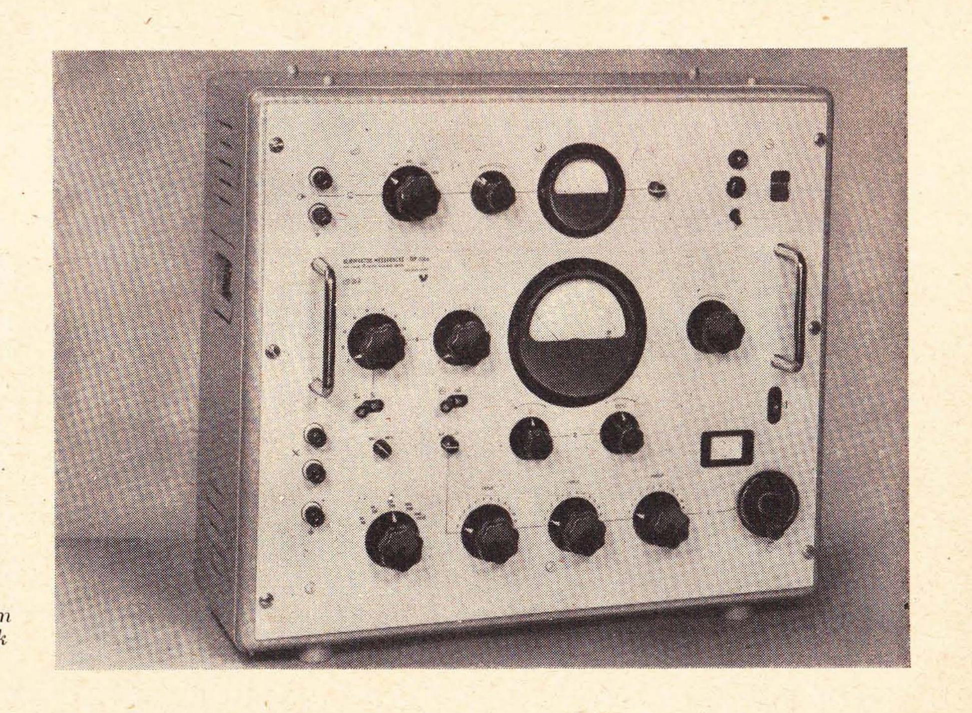


Bild 27 Klirrfaktormeßbrücke vom VEB Funkwerk Erfurt

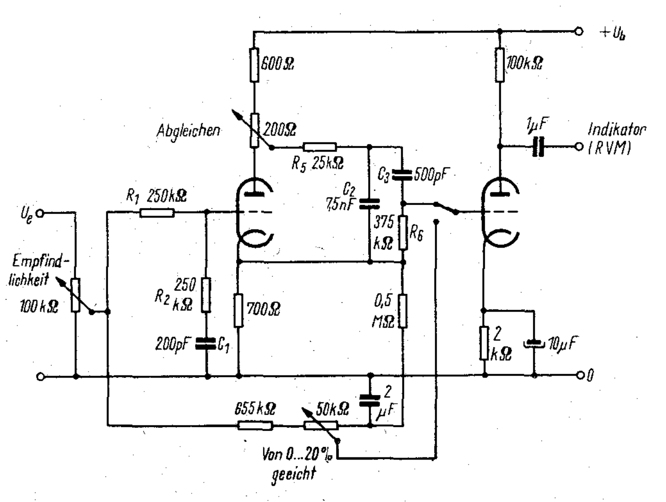


Bild 28 Einfacher Klirrfaktormesser nach Tolk (Röhre ECC 82)

$$\frac{1}{C_2R_5} = \frac{1}{C_3R_6} = \omega_0$$

und

$$R_6 > 10 \cdot R_5$$

$$R_1 = R_2 \cdot \frac{1}{4\,\omega_0\,C_1}.$$

Das Gerät ist für 800 Hz ausgelegt, Bild 29 zeigt die Durchlaßkurve des Filters. Mit diesem einfachen Gerät kann der Amateur alle für seine Belange wichtigen Klirrfaktormessungen durchführen.

5.3 Klirrfaktormessungen mit Hochpaß

Schließlich noch eine weitere Art von Klirrfaktormeßgeräten: Sie sind zwar sehr aufwendig, doch erlauben sie äußerst schnelle Messungen, da kein Abgleich erforderlich ist. Den Amateur interessieren sie aber nur in beschränktem Umfang,

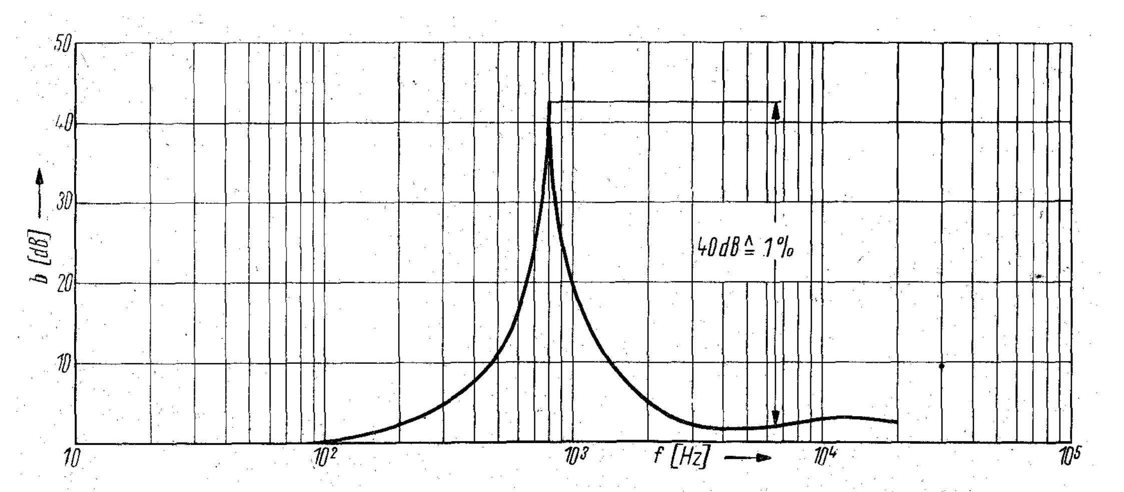


Bild 29 Dämpfung in Abhängigkeit von der Frequenz der in Bild 28 gezeigten Schaltung

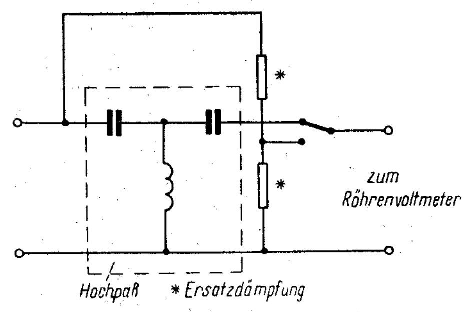


Bild 30 Prinzipschaltung der Klirrfaktormessung nach der Filtermethode

da ein Selbstbau kaum in Frage kommt (das benötigte Filter ist zu aufwendig).

Bild 30 zeigt die Prinzipschaltung. Ein Hochpaßfilter dämpft die Grundwelle und läßt die Oberwellen durch. Mit besonders sorgfältiger Dimensionierung des Filters erreicht man, daß die Flanke des letzteren (zwischen Grundfrequenz und erster Oberwelle) sehr steil ist (große Dämpfung der Grundfrequenz) und daß im Durchlaßbereich (besonders zwischen erster und zweiter Oberwelle) eine möglichst geringe und gleichmäßige Dämpfung erreicht wird.

Am Ausgang des Filters liegt ein Umschalter, mit dem statt des Filters eine „Ersatzdämpfung" eingeschaltet werden kann. Diese ist genauso groß wie die Filterdämpfung bei den Oberwellen. Regelt man nun die zu messende Spannung am Ausgang der Ersatzdämpfung auf einen bestimmten Wert (z. B. 1 Volt), der gleich 100 Prozent gesetzt wird, so kann nach Umschalten auf das Filter unmittelbar der Klirrfaktor am Meßgerät abgelesen werden. Im vorliegenden Beispiel würden 10 mV = 1 Prozent sein usw.

Mit derartigen Geräten können bei geeignetem Aufbau schon 0,1 Prozent gemessen werden. Da der Abgleich des Filters entfällt, ist auch die Möglichkeit von subjektiven Meßfehlern infolge Fehlabgleichs so gut wie ausgeschlossen.

Nachteilig ist, daß für jede Meßfrequenz ein gesondertes aufwendiges Filter benötigt wird. Deshalb beschränkt man sich bei derartigen Geräten auf einige Festfrequenzen (etwa 110, 1000 und 3000 Hz).

5.4 Der Einfluß des Tongenerators

Allen Klirrfaktormessungen ist gemeinsam, daß der zu messende Verstärker von einem Tongenerator ausgesteuert werden muß. Hat der Tongenerator selbst einen großen Klirrfaktor, so sind mehr oder weniger große Meßfehler das Ergebnis. Im Extremfall (großer Tongenerator-Klirrfaktor, kleiner Verstärker-Klirrfaktor) mißt man am Verstärkerausgang nur den Klirrfaktor des Tongenerators. Es ist wichtig, die Größe des Einflusses des Tongeneratorklirrfaktors auf das Meßergebnis zu kennen und gegebenenfalls zu wissen, wie dieser Einfluß ausgeschaltet oder vermindert wird.

In jedem Falle setzt sich der am Verstärkerausgang gemessene Klirrfaktor aus den Einzelklirrfaktoren zusammen. Diese Zusammensetzung bedeutet jedoch keinesfalls, daß der Gesamtklirrfaktor die arithmetische Summe der Einzelklirrfaktoren ist! Der Gesamtklirrfaktor kann sogar kleiner als jeder Einzelklirrfaktor sein. Entscheidend für das Ergebnis sind Amplituden und Phasenlagen der einzelnen Harmonischen. Die Phasenlagen kennt man jedoch kaum.

Deshalb geht man nicht den Weg des „Zurückrechnens" aus den einzelnen Teilklirrfaktoren. Eine Faustregel der Meßtechnik besagt, daß der Klirrfaktor des Generators mindestens um eine Größenordnung kleiner als der zu messende Klirrfaktor sein muß. Soll also ein Klirrfaktor von 1 Prozent gemessen werden, so darf der Generator keinen größeren Klirrfaktor als 0,1 Prozent aufweisen. Ist der Generator-Klirrfaktor größer, so kann man den wirklichen Wert des Verstärkerklirrfaktors nur näherungsweise bestimmen.

Ein Beispiel:
Der Klirrfaktor wird gemessen. Das Meßergebnis soll mit k_{ab} bezeichnet werden.

Anschließend wird der Generator umgepolt, d. h. mit anderer Polarität an den Verstärkereingang angeschlossen; der Generator muß hierfür natürlich einen symmetrischen Ausgang besitzen. Bei sonst gleichen Meßbedingungen wird die Klirrfaktormessung wiederholt. Das Ergebnis heißt k_{ba}.

Ist k_{ab} verschieden von k_{ba}, so hat der Generator-Klirrfaktor bereits einen Einfluß auf das Meßergebnis. In diesem Falle liefert eine gute Näherung das arithmetische Mittel beider Meßergebnisse:

$$k = \frac{k_{ab} + k_{ba}}{2}.$$

Diese überschlägige Rechnung ist nur dann einigermaßen zulässig, wenn der Tongeneratorklirrfaktor nicht größer ist als der Verstärkerklirrfaktor. Es kann vorkommen, daß diese Bedingung nicht erfüllt ist, d. h., der Klirrfaktor des Tongenerators liegt höher als der erwartete Klirrfaktor des Verstärkers. Dann muß ein Filter hinter den Tongenerator geschaltet werden, das die Oberwellen zurückhält und nur die Grundfrequenz durchläßt, mit anderen Worten den Tongeneratorklirrfaktor herabsetzt (Bild 31).

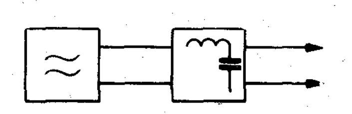


Bild 31
Anordnung eines Tiefpasses nach dem Tongenerator zur Herabsetzung des Klirrfaktors

5.5 Filter zur Klirrfaktorminderung von Tongeneratoren

Wie aus der Wirkungsweise derartiger Filter hervorgeht, handelt es sich um Tiefpässe (Bild 31). LC-Tiefpässe sind leicht zu berechnen, doch haben sie verschiedene Nachteile: Bei tiefen Frequenzen sind Induktivitäten mit großen Eisenkernen erforderlich, die leicht Wechselfelder (von Netztransformatoren) einfangen können und damit das gesamte Meßergebnis in Frage stellen.

Eisenkerne verursachen bei großen magnetischen Feldstärken selbst Klirrfaktoren.

Durch die unvermeidlichen Verluste der Induktivitäten wird die Flankensteilheit in günstigen Fällen 13 dB pro Oktave je Filterglied. Außerdem tritt bereits eine gewisse Dämpfung bei der ersten Oberwelle auf, die das Meßergebnis verfälscht. Deshalb findet man derartige LC-Filter meist mit gewissen Ausgleichsgliedern, die nur dann exakt berechnet werden können, wenn die Größe der Verluste bekannt ist. Dies wird jedoch so gut wie nie der Fall sein. Man muß deshalb orientierende Messungen vornehmen.

Mit Hilfe von RC-Gliedern ist ebenfalls der Aufbau von Tiefpässen möglich. Besonders wirksam sind Schaltungen, bei denen RC-Glieder im Gegenkopplungszweig eines Meßverstärkers liegen. Bild 32 zeigt ein Beispiel für einen elektronischen Tiefpaß, dessen Grenzfrequenz sich kontinuierlich zwischen 1,8 und 28 kHz verändern läßt. Meist ist dies im Falle des Oberwellenfilters nicht erforderlich, es genügt, den Klirrfaktor bei einigen Festfrequenzen zu messen. Man kann deshalb auch den Tiefpaß für einige Grenzfrequenzen auslegen, wobei der Dreifachdrehkondensator in Bild 32 entfällt und durch Festkondensatoren ersetzt wird. Dies ver-

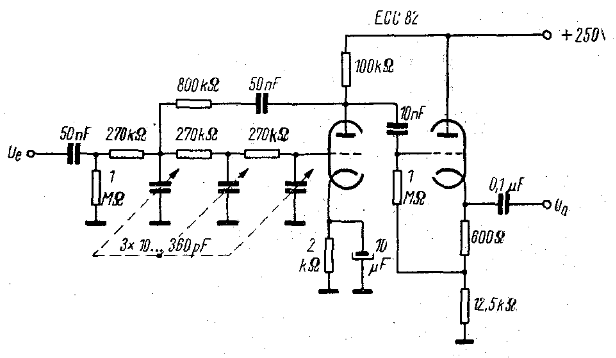


Bild 32 Schaltung für ein elektronisches Tiefpaßfilter

einfacht die Schaltung, doch muß man durch geringe Aussteuerung dafür sorgen, daß nicht schon in der Filterröhre ein großer Klirrfaktor entsteht.

Die Flankensteilheit der beschriebenen Anordnung liegt bei 20 dB pro Oktave. Wird eine höhere Steilheit gewünscht, so können mehrere derartige elektronische Filter hintereinander geschaltet werden. Ihre Wirkung addiert sich dann.

Am günstigsten ist es, durch geeigneten Aufbau des Generators für einen niedrigen Generator-Klirrfaktor zu sorgen. Hierzu gibt es in der Literatur eine Unmenge Schaltungen, die alle nach dem RC-Prinzip arbeiten. Bild 33 zeigt einen durchstimmbaren Generator, Bild 34 einen Generator für Festfrequenzen.

Der zweite Generator ist für den Nachbau geeigneter, da er mit Bauelementen aus der Produktion der DDR aufgebaut wurde. In beiden Fällen ist der Klirrfaktor sehr niedrig und hängt fast ausschließlich von der günstigen Kennlinie der nichtlinearen Widerstände (Heiß- bzw. Kaltleiter, Germaniumdioden) ab. Werte von < 0,1 Prozent wurden erreicht.

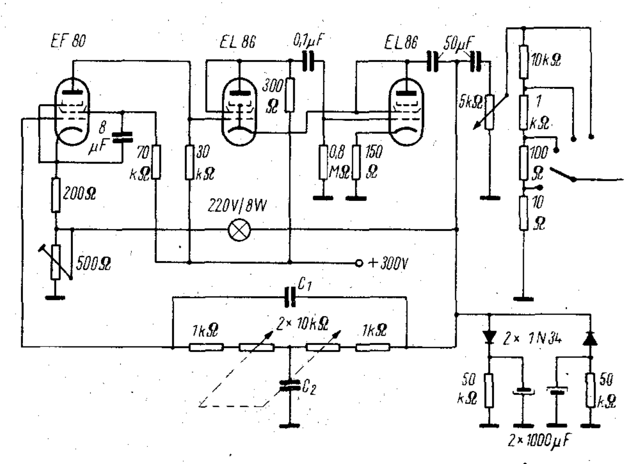


Bild 33 Schaltung für einen durchstimmbaren klirrarmen Generator

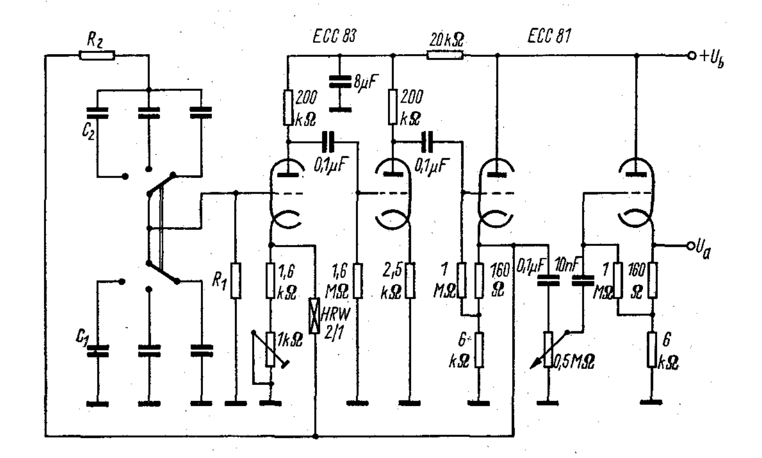


Bild 34 Schaltung für einen klirrarmen Festfrequenz-Generator

Der Nachbau des in Bild 33 gezeigten, sehr klirrarmen Generators macht einige Schwierigkeiten, da entsprechende Bauelemente aus der Produktion unserer Industrie gefunden werden müssen, die die amerikanischen Originalteile ersetzen. Für die gleichstromgekoppelten Endröhren verwendet man zweckmäßigerweise EL 86, die entsprechenden Änderungen sind in Bild 33 bereits eingezeichnet; das Originalgerät ist mit den bei uns nicht gefertigten 6 AQ 5 bestückt. An Stelle der Glühlampe 220 V/8 W verwendet man eine Serienschaltung möglichst hochohmiger Glühlämpchen. Besonders geeignet sind die sogenannten Fernmeldelämpchen für 60 V. Schließlich lassen sich die Germaniumdioden 1 N 34 durch den DDR-Typ OA 705 (VEB Werk für Fernsehelektronik) ersetzen. Die Größe der Kapazitäten C_1 und C_2 wurde nicht angegeben, sie richtet sich nach den zu überstreichenden Frequenzbereichen. Die Variation mittels des Doppelpotentiometers beträgt etwa 1 : 10. Für die Dimensionierung gelten folgende Regeln:

$$\frac{C_2}{C_1} = 4,$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R\sqrt{C_1 \cdot C_2}}.$$

(Für R ist der Minimal- bzw. Maximalwert des Potentiometers einzusetzen.)

In Bild 34 wurde lediglich die Oszillatorschaltung gezeigt. Sie kann durch jeden klirrarmen Generator zu einem kompletten Tongenerator ergänzt werden. Die Festfrequenzumschaltung erfolgt mittels der Kondensatoren in der Wienbrücke (Gitter des ersten Röhrensystems). Die Widerstände R_1 und R_2 sind entsprechend zu wählen bzw. eventuell ebenfalls umzuschalten. Für die Dimensionierung von $R_1 = R_2 = R$ und $C_1 = C_2 = C$ gilt die Gleichung:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot C \cdot R}.$$

6. MESSUNGEN AN ÜBERTRAGERN

Messungen an Übertragern gehören zu den dankbarsten Aufgaben des NF-Technikers. Ein gut gemessener Übertrager kann unter Umständen kostbare Fehlersuchzeit am fertigen Gerät sparen. Denn ganz gleich, ob der Amateur seinen Übertrager für einen speziellen Verwendungszweck anfertigt, anfertigen läßt oder ein fertiges Exemplar verwendet, oft kennt man günstigstenfalls nur die berechneten Übertragerdaten. Man steht also vor der Aufgabe, die Daten (und damit die Verwendbarkeit in der gewählten Schaltung) eines unbekannten Übertragers zu bestimmen.

Eine einfache Messung der Wicklungsgleichstromwiderstände ist wenig sinnvoll, sie kann sogar schaden. Übertrager mit hochpermeablen Blechen (Mumetall) dürfen unter keinen Umständen mit Gleichstrom vormagnetisiert werden — was bei der Messung des Gleichstromwiderstands zwangsläufig passiert! Ist ein Übertrager aber versehentlich gleichstromvormagnetisiert worden, so hilft man sich zweckmäßigerweise durch folgende Maßnahme:

Eine Wicklung des Übertragers wird an einen Tonfrequenzgenerator gelegt (Frequenz möglichst hoch). Seine Ausgangsspannung soll höher sein als die voraussichtliche Betriebsspannung des Übertragers. Sie wird kontinuierlich (bei angeschlossenem Übertrager) bis zum Nullwert herabgeregelt und dann erst der Übertrager vom Generator abgetrennt. Der Vorgang gleicht in gewisser Hinsicht dem Entmagnetisieren eines Tonbandes oder dem der Köpfe eines Tonbandgerätes mit einer Drossel — auch hier kommt es darauf an, den Einfluß des Wechselfeldes kontinuierlich zum Verschwinden zu bringen. Hat die Struktur des Übertragerkernes nicht durch die vorangegangene Vormagnetisierung Schaden genommen, so hilft die beschriebene Maßnahme meistens. Statt des

Tonfrequenzgenerators kann auch ein Meßsender verwendet werden.

Erste Messung:

Übersetzungsverhältnis. Man speist eine Wicklung mit Wechselspannung niedriger Frequenz und Spannung und mißt mit dem Röhrenvoltmeter die Spannungen an den anderen Wicklungen. Sicherheitshalber wiederholt man die Messungen mit einer höheren Frequenz, um auszuschließen, daß nicht das erste Mal kapazitives Übersprechen erfaßt wurde. Die Spannungen müssen sich mit geringfügigen Abweichungen reproduzieren lassen. Aus den Werten wird dann zunächst einmal die Schaltung des Übertragers einschließlich des Übersetzungsverhältnisses gewonnen.

Zweite Messung:

Leerlaufinduktivität und Kapazität des Übertragers. Die Primärwicklung des Übertragers wird über einen hochohmigen Widerstand (1 MΩ) an den Tongenerator angeschlossen, gemessen wird die Spannung unmittelbar an den Klemmen der Primärwicklung (Bild 35). Der Eingangswiderstand des Röhrenvoltmeters muß hochohmig sein ($\geqq$ 500 kΩ). Bei konstanter Ausgangsspannung des Tongenerators wird die Spannung bei tiefen und hohen Frequenzen gemessen, die einzelnen Werte auf linear-logarithmischem Millimeterpapier aufgetragen. Sie ergeben eine Kurve gemäß Bild 36. Sodann werden die Geraden unter jeweils 45 ° gezogen, die sich am besten an die Kurvenäste anschmiegen. Der Schnittpunkt

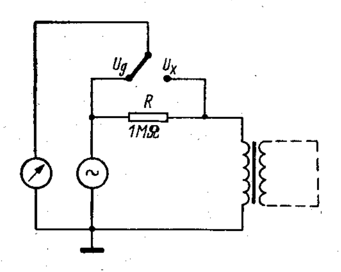


Bild 35
Zur Messung von Hauptinduktivität, Kapazität und Streuinduktivität des Übertragers

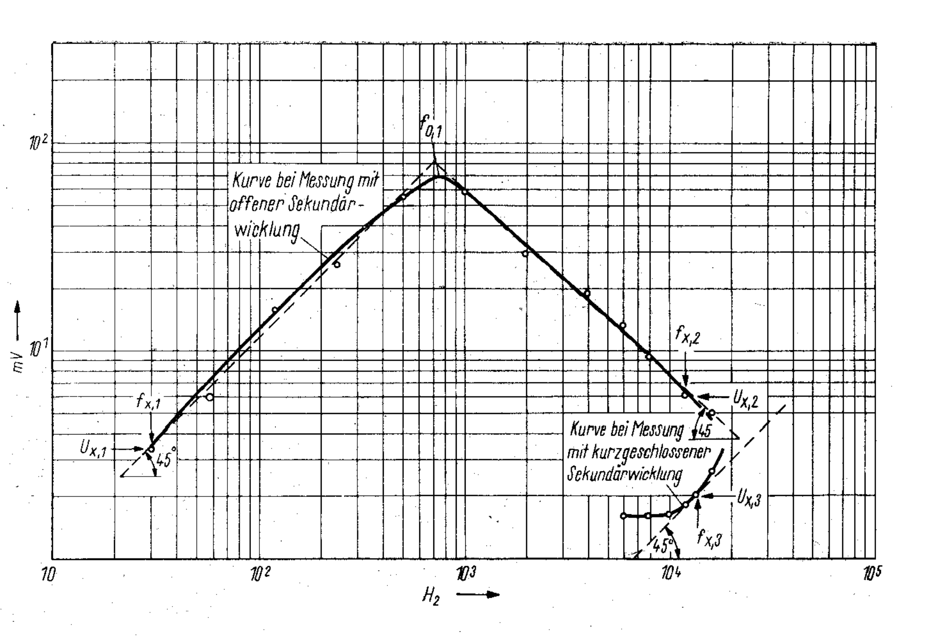


Bild 36 Zur Auswertung der Messungen gemäß Bild 35

der Geraden muß bei der Frequenz liegen, die die höchste Tonfrequenzspannung ergibt. Sie liegt bei Tonfrequenzübertragern meist um 1000 Hz, bei hochwertigen Eingangsübertragern um 500 Hz.

Zur Bestimmung der Leerlaufinduktivität L_0 des Übertragers sucht man einen möglichst geringen Meßwert auf dem ansteigenden Kurvenast auf, der auf der Geraden liegt bzw. wenig von ihr abweicht. Mit Hilfe der so aus der Kurve gewonnenen Werte $U_{x,1}$ und $f_{x,1}$ läßt sich L_0 ausrechnen:

$$L_0 = \frac{U_{x,1} \cdot R}{U_g \cdot \omega_1}.$$

Die Bedeutung der Symbole geht aus den Bildern 35 und 36 hervor, einzusetzen sind die Grunddimensionen V und Ω.

Ebenso verfährt man zur Ermittlung der Kapazität. Auf dem absteigenden Ast der Kurve (hohe Frequenz) wird wieder ein Punkt aufgesucht, an dem der Meßwert möglichst auf der Geraden liegt. Mit den so erhaltenen Werten $U_{x,2}$ wird dann C ausgerechnet:

$$C = \frac{U_g}{U_{x,2} \cdot R \cdot \omega_2}.$$

Von der Richtigkeit des gefundenen Wertes kann man sich durch eine Kontrollrechnung leicht überzeugen. Setzt man die gefundenen Werte von L_0 und C in die Thomsonsche Gleichung ein, so muß sich die Resonanzfrequenz (Schnittpunkt der Geraden) aus der Kurve wieder ergeben:

$$\frac{1}{6{,}28\sqrt{L_0 \cdot C}} \approx f_{0,1}.$$

Um den nutzbaren Frequenzbereich des Übertragers beurteilen zu können, fehlt noch der Wert der Streuinduktivität σ L. Es handelt sich hierbei um die Induktivität, die nicht zur Kopplung der Übertragerwicklungen beiträgt. Sie soll möglichst gering sein. Zu diesem Zweck wiederholt man die bereits geschilderte Messung, diesmal jedoch bei kurzgeschlossener Sekundärwicklung (gestrichelt in Bild 35). Wäre die Streuinduktivität des Übertragers Null, so könnte jetzt keine Spannung an der Primärwicklung entstehen.

Die Messung wird bei hohen Frequenzen (über 6000 Hz) ausgeführt und die Ergebnisse wieder auf linear-logarithmischem Papier aufgetragen. Es ergibt sich eine spitze Resonanzkurve (Achtung! Manchmal reicht der Frequenzbereich des Tongenerators nicht aus, um die Resonanzspitze zu erfassen). Zu dem ansteigenden Kurvenast wird die Tangente unter 45 ° gezogen und mit Hilfe der Werte $U_{x,3}$ und $f_{x,3}$ aus dem Berührungspunkt die Streuinduktivität berechnet:

$$\sigma L = \frac{U_{x,3} \cdot R}{U_g \cdot \omega_3}.$$

Mit σL und L_0 läßt sich der Streufaktor bestimmen:

$$\sigma = \frac{\sigma L}{L_0}.$$

Übliche Werte von σ sind:

einfache Ausgangsübertrager	2 ... 10 Prozent
hochwertige Ausgangsübertrager	0,5 ... 1 Prozent
Spezialausgangsübertrager	10^{-4} und größer

Mit diesen Werten läßt sich der nutzbare Frequenzbereich des Übertragers bestimmen. Ein weiterer wichtiger Wert ist die maximale Primärspannung. Diese kann nur näherungsweise aus Messungen bestimmt werden. Einen Anhalt liefert eine Klirrfaktormessung. Allerdings sollte man von dieser Messung nicht zuviel erwarten. Sie hat nur Sinn bei tiefen Frequenzen mit äußerst klirrarmen Generatoren, so daß Werte von etwa 1 Prozent am Übertragerausgang noch gemessen werden können. Je nach Verwendungszweck des Übertragers kann man aus den Spannungswerten und dazugehörenden Klirrfaktoren bestimmen, wie weit der Übertrager betriebsmäßig ausgesteuert werden darf. Solche Rückschlüsse erfordern schon viel Erfahrung.

Von Interesse ist der Wert der Primärinduktivität bei der höchsten betriebsmäßig anliegenden Spannung. Ihr Wert ist immer abweichend vom Wert L_0. Eine einfache Meßschaltung zeigt Bild 37. Der Übertrager bildet mit einem veränderlichen Kondensator (Kondensatordekade) einen Reihenschwingkreis. Dadurch schaukelt sich die Resonanzspannung

am Übertrager auf, d. h., man erreicht auf diese Weise mit üblichen Tongeneratoren-Ausgangsspannungen mühelos Primärspannungen von einigen hundert Volt, wie sie Ausgangsübertrager im Betrieb aufweisen. Die Primärspannung wird mit Hilfe eines Röhrenvoltmeters kontrolliert.

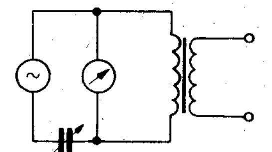


Bild 37.
Zur Messung der Induktivität bei Anlegen einer größeren Spannung

Hat man den geforderten Wert der Primärspannung eingestellt, so läßt sich der Wert von L_1 einfach berechnen:

$$L_1 = \frac{1}{\omega^2 \cdot C}.$$

Messungen der Symmetriedämpfung des Übertragers werden hier nicht behandelt, sie kommen nur bei hochwertigen Eingangsübertragern vor und sind für den Amateur — der meist mit unsymmetrischen Geräteeingängen arbeitet — von geringem Interesse.

7. SONDERMESSUNGEN

7.1 Gleichzeitiges Oszillografieren von zwei Kurvenzügen

Gelegentlich hat man den Wunsch, gleichzeitig zwei Kurvenzüge auf dem Schirm eines Oszillografen sichtbar zu machen. Dies kann z. B. erforderlich sein, um die Symmetrie (Amplitude und Phase) einer Gegentaktschaltung bei verschiedenen Frequenzen zu überprüfen usw.

In großen Laboratorien gibt es für derartige Sonderaufgaben Zweistrahloszillografen, bei denen zwei getrennt steuerbare Elektronenstrahlen zwei getrennte Bilder auf dem Schirm erzeugen. Derartige Oszillografen sind aufwendig und kommen für den Amateur nicht in Frage.

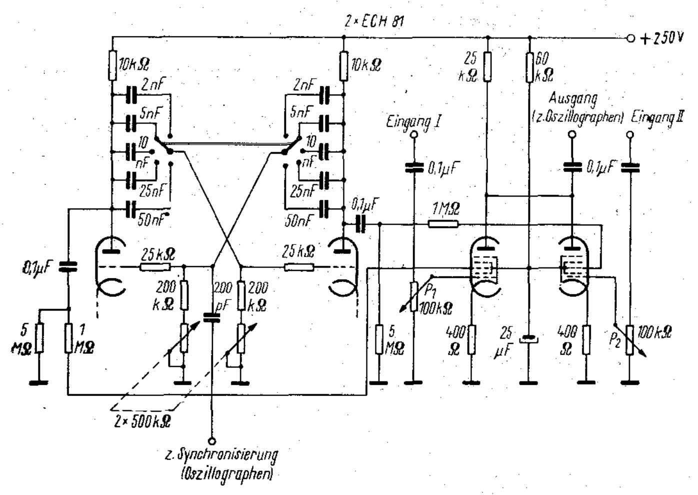


Bild 38 Elektronischer Umschalter (nach Pudollek)

Eine andere Möglichkeit besteht in der Verwendung eines „elektronischen Umschalters“ mit einem Einstrahloszillografen: Die beiden abzubildenden Spannungen werden einem Umschalter zugeführt, der sie abwechselnd auf die Meßplatten des Oszillografen schaltet. Da die Umschaltfrequenz sehr hoch ist, kann das Auge sie nicht wahrnehmen und sieht statt dessen zwei übereinandergeschriebene Kurvenzüge. Ein Synchronisieren der Schaltfrequenz mit der Meßfrequenz ist notwendig, man synchronisiert jedoch zweckmäßigerweise auf einer hohen Oberwelle, so daß während eines Kurvenzuges mehrere Umschaltungen stattfinden. Bild 38 zeigt eine einfache elektronische Umschaltvorrichtung nach einer Schaltung von Pudollek. Ein Spannungsvergleich (beispielsweise in einer Gegentaktstufe) kann damit unmittelbar stattfinden. Auch Phasenmessungen sind mit etwas Geschick leidlich genau möglich, allerdings nur bei relativ großen Phasendrehungen. Es empfiehlt sich, die Potentiometer P_1 und P_2 (lineare Ausführungen) mit einer Eichskala zu versehen.

7.2 Temperaturmessungen

Temperaturmessungen sind für den NF-Amateur selten von Interesse. Bei neugebauten Geräten und Anlagen können sie jedoch gelegentlich erforderlich sein, um die Temperatur besonders beanspruchter Bauelemente im Betrieb zu ermitteln bzw. zu kontrollieren, ob deren maximale Arbeitstemperatur nicht überschritten wird.

Eines jener Bauelemente, bei denen durch unkorrekte Dimensionierung leicht eine Überhitzung eintritt, ist der Netztransformator. Die Kupferwicklungen des Trafos ändern mit der Temperatur ihre Widerstände, was es gestattet, ihre Temperatur sehr genau zu bestimmen. Da Kupfer seinen spezifischen Widerstand pro Grad um 0,38 Prozent erhöht, mißt man mit einem genauen Ohmmeter (Brücke) den Widerstand der Primärwicklung (im Wickel innen, weil dort am wärmsten) einmal im kalten Zustand, d. h. vor dem Einschalten, zum anderen stündlich im Betrieb. Die jeweilige Tempera-

turzunahme gegenüber der Zimmertemperatur (Temperaturüberhöhung) läßt sich dann wie folgt berechnen:

$$t_ü = \frac{R_{warm} - R_{kalt}}{R_{kalt} \cdot 3,8} \cdot 10^3.$$

Beispiel:

Der Kaltwiderstand der Trafowicklung beträgt 28 Ω, der Widerstand nach 1 Stunde Betrieb 31 Ω; wie groß ist die Temperatur der Wicklung?

Es ist

$$t_ü = \frac{31 - 28}{28 \cdot 3,8} \cdot 10^3 = 28,2°.$$

Durch Auftragen der einzelnen stündlichen Werte gewinnt man eine Temperaturkurve. Nach etwa 4 Stunden bleibt die Wicklungstemperatur konstant, es lohnt sich nicht, weiterzumessen. Man beachte, daß dies die Übertemperatur ist! Bei warmer Umgebung wird der Trafo dann allerdings noch heißer, seine Wicklungstemperatur ist nämlich immer: Umgebungstemperatur + Temperaturerhöhung.

Komplizierter wird die Temperaturmessung an anderen Bauelementen. Bei Röhren und Transistoren ist ohnehin die maximale Verlustleistung vorgeschrieben. Solange man diese nicht überschreitet, übersteigt auch die Temperatur des betreffenden Bauelementes nicht das zulässige Maß.

Soll ausnahmsweise die Temperatur einmal an einem Bauelement bzw. an einer bestimmten Stelle des Gerätes gemessen werden, so gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten.

a) Messung durch Widerstandsthermometer. Einige Windungen dünner Draht werden an der betreffenden Stelle angebracht, aus Kalt- und Warmwiderstand wird nach der obenstehenden Formel die Temperaturzunahme errechnet.

b) Messung mit Halbleitern. Dieses Verfahren ist etwas umständlicher als das mit Widerstandsthermometer und eignet sich (bei Germaniumelementen) bis höchstens 60 °C. Es erfordert eine kleine Batterie (Trockenakku 2 Ah) und einen empfindlichen Strommesser. Die Halbleiterelemente

werden an die zu messende Stelle gebracht. Bild 39 zeigt eine von Jakubaschk empfohlene Schaltung mit handelsüblichen Bauelementen (bei Nachbau empfiehlt sich die Aufnahme einer neuen Eichkurve).

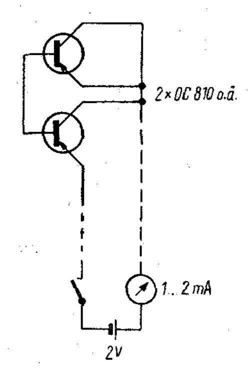


Bild 39
Elektronische Temperaturmessung mit Transistoren (nach Jakubaschk)

7.3 Messungen der Eingangssymmetrie

Obwohl im allgemeinen amateurmäßige NF-Geräte unsymmetrische Ein- und Ausgänge besitzen (ein Pol ist geerdet), besteht doch gelegentlich die Notwendigkeit, mit einem symmetrischen Eingang zu arbeiten (Anschluß von Postleitungen usw.). Dabei ergibt sich, daß die Eingangssymmetrie meßtechnisch erfaßt werden muß. Dies geschieht durch Messung der sogenannten Symmetriedämpfung: Man mißt das Verhältnis der Ausgangsspannung mit (korrekter) symme-

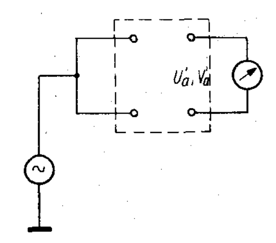


Bild 40
Zur Messung der Symmetriedämpfung

trischer Speisung des Einganges (U_a) und anschließend die Ausgangsspannung, die sich mit der gleichen Eingangsspannung ergibt, wenn die Speisung unsymmetrisch erfolgt (beide Eingangsklemmen verbunden gegen Erde, U'_a). Bild 40 veranschaulicht das Gesagte.

Die Symmetriedämpfung ist

$$a_{sym} = 20 \lg \frac{U_a}{U'_a} \text{ [dB]}.$$

Trägt man die gemessenen Werte in Abhängigkeit von der Frequenz als Kurve auf, so ergibt sich im allgemeinen:

> Die Symmetriedämpfung ist bei tiefen Frequenzen am größten. Die Symmetriedämpfung nimmt entweder nach hohen Frequenzen zu stetig ab, oder sie weist ein ausgesprochenes Minimum bei einer hohen Frequenz auf, was die Folge einer Resonanzerscheinung ist.

Mit üblichen Eingangsübertragern erreicht man Symmetriedämpfungen von $\geqq$ 40 dB (1 : 100), durch entsprechende Ausführung des Eingangsübertragers gelingt es, $\geqq$ 60 . . . 70 dB zu erreichen. Bei tiefen Frequenzen (30 . . . 60 Hz) ist die Symmetriedämpfung meist so groß (> 90 dB), daß oft ihre Messung mit amateurmäßigen Mitteln nicht mehr möglich ist.

7.4 Messung der HF-Dichtigkeit von NF-Geräten

Bei Amateursendern, die im A_3-Betrieb arbeiten, ist zwecks Modulation eine NF-Verstärkerkette vorgesehen. Je nach verwendetem Mikrofontyp beträgt die kleinste zu verarbeitende NF-Spannung einige mV und mehr. Es ist durchaus möglich, daß das Mikrofon und seine Leitung etwas HF-Energie vom Sender „fängt“ und an den Verstärkereingang weitergibt; die Erfahrung lehrt, daß Abschirmen der Leitung nicht sehr viel nutzt.

Unter diesen Umständen ist es wichtig zu wissen, ob die Verstärkerkette die Hochfrequenzspannung demoduliert (Rückkopplung, Verzerrungen usw.) bzw. wie groß die

HF-Spannung am Eingang sein darf, bevor eine meßbare Demodulation auftritt. Man nennt die betreffende Eigenschaft des Verstärkers „HF-Dichtigkeit".

Zur Durchführung der Messung schaltet man einen Leistungsmeßsender an den Eingang des zu messenden Verstärkers und ein NF-Röhrenvoltmeter an den Ausgang. Der Verstärker soll unter Betriebsbedingungen arbeiten. Es empfiehlt sich, ihn während der Messung dort eingebaut zu lassen, wo er normalerweise arbeitet.

Wird jetzt der Meßsender mit einer Tonfrequenz (empfohlener Wert: 3000 Hz zu 30 Prozent) moduliert, so darf — wenn der Verstärker völlig „HF-dicht" ist — am Ausgang keine Spannung von der Modulationsfrequenz erscheinen. Die Güte der „HF-Dichtigkeit" kennzeichnet das logarithmische Verhältnis zwischen angelegter HF-Spannung und am Ausgang gemessener NF-Spannung.

Diese Messung erfaßt nicht das eventuelle Eindringen von HF durch die Stromversorgung (Netz) oder direkt in das Gerät infolge des HF-Feldes. Bei korrektem Aufbau und sauberer Abschirmung sowie Verdrosselung können diese Faktoren im Amateursender oft vernachlässigt werden.

7.5 Messung des Isolationswiderstands von Koppelkondensatoren

Eine sehr wichtige Messung ist die des Isolationswiderstands von Koppelkondensatoren in RC-Verstärkern. Bei selbstgebauten, neuen Geräten, aber auch bei Reparaturen, sollte man sie niemals unterlassen. Besonders die Endstufe ist hier äußerst wichtig.

Bild 41 veranschaulicht die Gefährdung der Endröhre bei Übergangswiderständen des Koppelkondensators.

Vom Gitter der Endröhre zur Anode der Vorröhre liegt der Koppelkondensator C_k. Betrachtet man die Gleichspannungsverhältnisse, so bildet der Isolationswiderstand von C_k (in Bild 41 gestrichelt gezeichnet, Bezeichnung R_{is}) zusam-

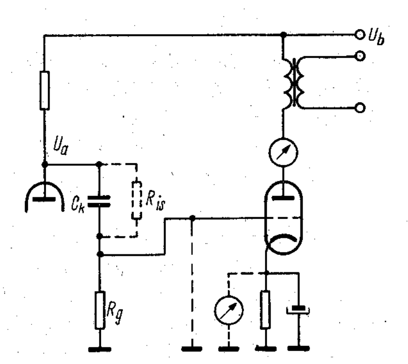


Bild 41
Zur Messung des Isolationswiderstands von Koppelkondensatoren

men mit dem Gitterableitwiderstand R_g einen Spannungsteiler. Angenommen, an der Anode der Vorröhre liege eine Gleichspannung von 100 V, der Gitterableitwiderstand sei 1 MΩ. Es genügt dann ein Isolationswiderstand von 100 MΩ, um am Gitter eine positive Spannung von rund 1 V entstehen zu lassen. Da gleichzeitig die negative Vorspannung der Röhre wirksam bleibt, hat sich ihr Arbeitspunkt um 1 V ins Gebiet positiverer Gittervorspannungen verschoben.

Bei Endröhren, die meist mit maximaler Anodenverlustleistung betrieben werden, kann diese Arbeitspunktverschiebung bereits eine Überlastung der Röhre bedeuten. Ein geringerer Isolationswiderstand wirkt sich noch stärker aus, d. h., der Arbeitspunkt wird dann noch mehr in Richtung positiver Gittervorspannung verschoben. (Zum Glück weisen die an dieser Stelle meist verwendeten Sikatrop-Kondensatoren fast immer wesentlich höhere Isolationswiderstände auf, durch Defekte verursachte niedrigere Isolationswiderstände sind äußerst selten.)

Es gibt ein einfaches Mittel, den Isolationswiderstand zu kontrollieren. Bei Kurzschluß des Steuergitters von Stufen mit automatischer Gittervorspannung gegen Masse darf sich der Anodenstrom nicht ändern. Wenn das Auftrennen des Anodenkreises Schwierigkeiten bereitet, kann auch die

Gleichspannung an der Katode gemessen werden. Diese darf sich bei Kurzschluß des Gitters gegen Masse ebenfalls nicht ändern. In Bild 41 sind beide Meßmöglichkeiten angedeutet. Nimmt bei Kurzschluß des Gitters der Anodenstrom bzw. die Gittervorspannung ab, so ist der Koppelkondensator zur vorangehenden Stufe verdächtig und sollte ausgewechselt werden.

Bei Endstufen mit fester Gittervorspannung (B-Verstärker) muß diese Methode etwas abgeändert werden. Hier wird der Katodenstrom gemessen, der Kurzschluß des Gitters erfolgt gegen den Speisepunkt der negativen Gittervorspannung (Gitterableitwiderstand kurzschließen).

Bei allen Messungen wird vorausgesetzt, daß keine der Verstärkerstufen schwingt. Übrigens deutet ein Abnehmen des Anodenstroms bei Kurzschluß des Gitters auch auf eine schwingende Endstufe hin. Dies ist jedoch kein absolut zuverlässiges Kriterium. Die Endstufe kann auch schwingen, ohne daß der Anodenstrom bei Gitterkurzschluß abnimmt.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß alle diese Prüfungen nur an Verstärkern ohne Ansteuerung erfolgen dürfen.

7.6 Messungen an Stereoverstärkern

Gelegentlich treten an Stereoverstärkern besondere Meßprobleme auf. Da diese Verstärker aus zwei Verstärkern mit üblicher Schaltung zusammengesetzt sind, können sich die besonderen Probleme nur auf die Gleichheit bzw. das Zusammenschalten der beiden Kanäle erstrecken.

a) Gleichheit der Verstärkung. Diese Gleichheit läßt sich sehr einfach durch Messen der Verstärkungen beider Kanäle feststellen. Nachteilig ist, daß die Lautsprecher nicht in diese Messung mit einbezogen werden können, ebensowenig die Tonfrequenzquelle (meist der Stereotonarm des Plattenspielers). Deshalb ist auch bei völliger Gleichheit beider Verstärkungen ein Einstellen des Balancereglers „nach Gehör" unerläßlich. Dazu bedient man sich zweckmäßigerweise einer

Testschallplatte oder eines Tongenerators: Beide Eingänge des Stereoverstärkers werden mit der gleichen Spannung (parallelschalten) beschickt. Mit dem Balanceregler muß sich der scheinbare Ort der Tonfrequenzquelle für den Zuhörer in der Basisebene zwischen beiden Lautsprechern verschieben lassen. Er wird so eingestellt, daß für einen auf der Mittenlinie zwischen den beiden Lautsprechern sitzenden Zuhörer der scheinbare Ort der Schallquelle sich genau in der Mitte zwischen den beiden Lautsprechern befindet.

b) Gleichheit des Frequenzganges. Beide Verstärkerkanäle müssen die gleiche Frequenzabhängigkeit der Verstärkung aufweisen, weil sich sonst der scheinbare Ort der Schallquelle bei der Musikwiedergabe je nach momentaner Frequenzlage der Darbietung unkontrollierbar verschiebt („Springen"). Um die Gleichheit der Frequenzgänge zu überprüfen, wird die Frequenzabhängigkeit der Verstärkung jedes einzelnen Kanals gemessen, und die resultierenden Kurven werden verglichen.

c) Gleichheit der Phasenlage. Zur korrekten stereofonischen Wiedergabe müssen die Lautsprecher zueinander in Phase sein. Die gleiche Forderung besteht auch beim Betrieb mehrerer parallelgeschalteter Lautsprecher (Lautsprecherzeilen). Hierzu gibt es folgende einfache Prüfmöglichkeit: Jeder Lautsprecher wird von seinem Übertrager abgetrennt und die Schwingspule kurz an eine Taschenlampenbatterie geschaltet. Die Lautsprechermembran wird dadurch entweder ein kleines Stückchen angezogen oder abgestoßen. Bei Zuschalten der anderen Lautsprecher bzw. bei deren Einspeisung mit gleicher Polarität wie der erste Lautsprecher muß die Bewegungsrichtung der Membran die gleiche sein — die Lautsprecher sind dann untereinander in Phase. Ist dies nicht der Fall — also gegensinnige Bewegung der Lautsprechermembranen —, so werden die betreffenden Lautsprecher umgepolt, bis die Bewegungsrichtungen untereinander übereinstimmen.

d) Übersprechdämpfung zwischen beiden Stereokanälen. Diese Prüfung unterscheidet sich von den vorangegangenen

in mehr als einer Hinsicht. Bei ihr kommt es nicht nur darauf an, daß beide Kanäle möglichst gleiche Eigenschaften aufweisen — dies ist hier sogar von untergeordneter Bedeutung — als vielmehr, daß die Modulation eines Kanals nicht bzw. möglichst wenig in den anderen überspricht.

Hierzu dient folgende Messung (Bild 42):

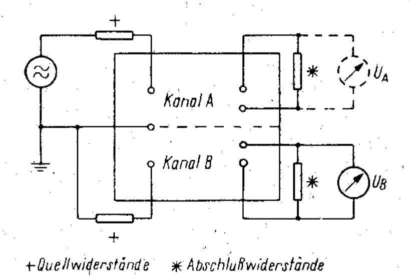


Bild 42
Messung der Übersprechdämpfung der beiden Kanäle in Stereoanlagen

Kanal B wird im Eingang mit dem Quellwiderstand der Tonfrequenzquelle abgeschlossen, Kanal A unter Wahrung des gleichen Quellwiderstands mit Tonfrequenzspannung gespeist. Die beiden Verstärkerausgänge sind mit ihren Abschlußwiderständen belastet. Kanal A wird bis zur maximalen Dauerleistung ausgesteuert. Am Ausgang des Kanals B darf dann bei unendlich großer Übersprechdämpfung keine Tonfrequenzspannung meßbar sein. Da über den gemeinsamen Netzteil, das Feld der Übertrager usw., stets eine gewisse Verkopplung vorhanden ist, wird in der Praxis meist eine kleine Tonfrequenzspannung meßbar sein (Achtung! Man überzeuge sich durch kurzzeitiges Kurzschließen des Einganges von B, daß die Spannung am Ausgang von A tatsächlich vom Übersprechen innerhalb der Verstärkeranlage herrührt. Die Spannung am Ausgang von A muß dann ebenfalls verschwinden!).

Aus dem logarithmischen Verhältnis beider Ausgangsspannungen, im beschriebenen Falle durch

$$20 \lg U_A / U_B ,$$

erhält man die Übersprechdämpfung. Die beschriebene Messung wird bei den verschiedenen Frequenzen wiederholt. Anschließend werden die Anschlüsse von A und B vertauscht und auf gleiche Art die Übersprechdämpfung von A nach B gemessen. Beide Übersprechdämpfungen sind fast nie gleich.

Literaturverzeichnis

„Radioamator“ H. 5 (1958)
„radio und fernsehen“ H. 10 (1956), S. 280—288
„radio und fernsehen“ H. 16 (1955), S. 500, 501
„radio und fernsehen“ H. 20 (1958), S. 603—605
„radio und fernsehen“ H. 3 (1959), S. 83—87
„funkamateur“ H. 8 (1961), S. 264—266
„Radio-Electronics“ H. 1 (1959), S. 76, 77 und 80
„Radio-Electronics“ H. 3 (1959), S. 115
„Radio-Electronics“ H. 10 (1952), S. 74
„Radio-Electronics“ H. 12 (1955), S. 64, 65

Inhalt

Der praktische Funkamateur

Heft 1	K. Andrae	Der Weg zur Kurzwelle	(3. Aufl. 1963)
Heft 2	M. Jakubaschk	Tonbandgeräte selbstgebaut	(3. Aufl. 1962)
Heft 5	H. Brauer	Vorsatzgeräte für den Kurzwellenempfang	(2. Aufl. 1962)
Heft 7	E. Scheller	Fuchsjagd-Peilempfänger Fuchsjagdsender	(2. Aufl. 1962)
Heft 8	K.-H. Schubert	Praktisches Radiobasteln I	(2. Aufl. 1961)
Heft 9	K.-H. Schubert	Praktisches Radiobasteln II	(2. Aufl. 1961)
Heft 10	O. Morgenroth	Vom Schaltzeichen zum Empfängerschaltbild	(2. Aufl. 1962)
Heft 11	Autorenkollektiv	Lizenzprüfung in Frage und Antwort	(2. Aufl. 1963)
Heft 12	F. W. Fußnegger	Meßtechnik für den Kurzwellenamateur	
Heft 13	K.-H. Schubert	Miniaturröhren und ihre Schaltungstechnik	(2. Aufl. 1962)
Heft 14	H. Jakubaschk	Fernsehempfänger selbstgebaut	(2. Aufl. 1962)
Heft 15	K. Rothammel	UKW-Amateurfunk	(2. Aufl. — Doppelband — 1963)
Heft 16	K.-H. Schubert	Praktisches Radiobasteln III	

Heft 17	Fischer/Blos	Transistor-Taschenempfänger selbstgebaut	(3. Aufl. 1963)
Heft 18	H. Jakubaschk	Meßplatz des Amateurs	
Heft 19	Th. Reck	Höchstfrequenztechnik und Amateurfunk	
Heft 20	H. Jakubaschk	Transistorschaltungen I	(3. Aufl. 1962)
Heft 21	O. Kronjäger	Formelsammlung für den Funkamateur	(2. Aufl. 1963)
Heft 22	W. Schurig	Fernsehtechnik und Fernsehpraxis	
Heft 23	O. Morgenroth	Funktechnische Bauelemente Teil I	(2. Aufl. 1962)
Heft 24	R. Schmidt	Schwingungserzeugung mit Elektronenröhren	
Heft 25	K. Streng	Niederfrequenzverstärker	
Heft 26	K. Schlenzig	Die Technik der gedruckten Schaltung für den Amateur Teil I	
Heft 27	T. Pricks	UKW-Vorsatzgeräte Teil I	
Heft 28	H. Jakubaschk	Elektronikschaltungen für Amateure	
Heft 29	K.-H. Neumann	Funktechnische Satellitenbeobachtung	



DEUTSCHER MILITÄRVERLAG